

Chương 6

CẢM BIẾN VẬN TỐC VÀ GIA TỐC

Trong thực tế sản xuất, việc đo tốc độ thường là đo tốc độ quay của máy. Trong trường hợp chuyển động thẳng thường chuyển việc đo tốc độ dài sang đo tốc độ quay, do đó cảm biến tốc độ góc chiếm vị trí ưu thế trong lĩnh vực đo tốc độ.

Các máy phát tốc độ một chiều và xoay chiều thực chất là các máy phát điện công suất nhỏ có sức điện động tỷ lệ với vận tốc cần đo được sử dụng rộng rãi trong các hệ truyền động điện kinh điển.

Trong chương này ta nghiên cứu các cảm biến tốc độ quang học là các cảm biến đóng vai trò quan trọng trong các hệ thống công nghiệp hiện đại.

6.1. ĐO TỐC ĐỘ QUAY CỦA ĐỘNG CƠ

Để đo tốc độ rôto ta có thể sử dụng các phương pháp sau đây :

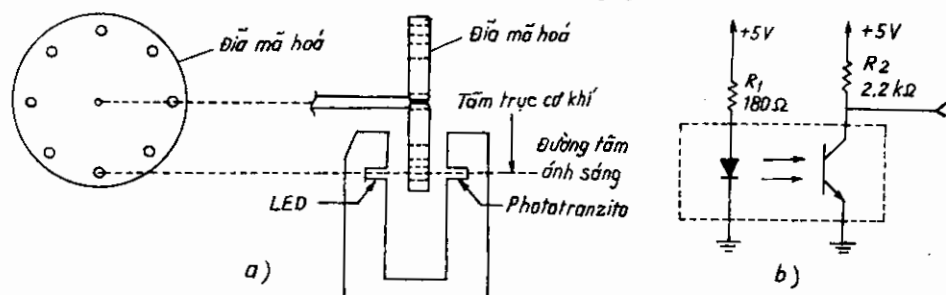
- Sử dụng máy phát tốc
- Sử dụng bộ cảm biến quang tốc độ với đĩa mã hóa
- Sử dụng máy đo góc tuyệt đối
- Xác định tốc độ gián tiếp qua phép đo dòng điện và điện áp stato mà không cần dùng bộ cảm biến tốc độ.

Do độ chính xác thấp, lại đòi hỏi kèm theo bộ đối tượng tự-số để số hóa tín hiệu đo nên phương pháp sử dụng máy phát tốc đã dần đi vào dĩ vãng. Dưới đây sẽ trình bày chi tiết các phương pháp xác định tốc độ quay của rôto.

6.1.1. Sử dụng bộ cảm biến quang tốc độ với đĩa mã hóa (Incremental Encoder)

Hình 6.1a là sơ đồ sử dụng bộ cảm biến quang tốc độ. Đĩa mã hóa gắn trên trục động cơ gồm các lỗ, trên hình 6.1a có tám lỗ. Đĩa đặt giữa nguồn tia hồng ngoại diốt phát quang LED cung cấp và đầu thu là tranzito quang (hình 6.1b). Khi đĩa quay tranzito quang sẽ chỉ chuyển mạch nếu vị trí LED, lỗ, tranzito quang thẳng hàng. Khi đó tranzito quang đưa điện áp trên R_2 về mức thấp. Khi đĩa ngăn ánh sáng thì tranzito quang bị khóa, kết quả là điện áp trên R_2 về mức cao.

Kết quả là khi đĩa mã hóa quay, ứng với hình 6.1a trên đầu ra R_2 ta được tám xung hình chữ nhật. Tần số xung phụ thuộc vào tốc độ đĩa.



Hình 6.1 Bộ cảm biến quang tốc độ với đĩa mã hóa

a) Sơ đồ cảm biến quang tốc độ.

b) Sơ đồ nguyên lý tranzito quang.

Nếu ta muốn duy trì tốc độ quay của rôto ở tốc độ không đổi nào đó ứng với chu kỳ tín hiệu do bộ cảm biến tốc độ tạo nên, chu kỳ này xác định điểm đặt tốc độ. Để xác định chiều quay (thuận hoặc ngược) cần sử dụng bộ cảm biến kép gồm có hai LED và hai tranzito quang, hai đĩa mã hóa (hình 6.2a). Khi đĩa quay ta nhận được hai xung chữ nhật lệch nhau 90° . Chiều quay được xác định bằng vị trí tương đối của hai tín hiệu ra. Tốc độ bằng không có nghĩa là xung tiếp theo không bao giờ tới. Trong thực tế áp dụng ta sử dụng bộ thời gian trễ khi các xung đến lớn hơn 65536 bằng bộ đếm thời gian thanh ghi.

Thông thường các bộ cảm biến quang tốc độ còn kèm theo khả năng xử lý sườn các xung tín hiệu và trên cơ sở đó cho phép tăng số lượng vạch đếm trong một vòng đĩa lên bốn lần. Chuỗi xung A hoặc B được đưa tới cửa vào của khâu đếm tiến, biết số xung trong một chu kỳ, ta tính được tốc độ quay của động cơ :

$$n \text{ [vòng/phút] } = \frac{60N}{4N_o T_n} \quad (6.1)$$

trong đó : T_n là chu kỳ điều chỉnh tốc độ, ở đây là chu kỳ đếm xung tính bằng giây.

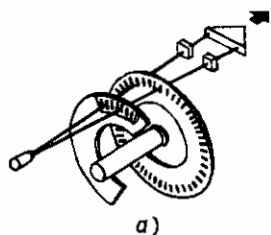
N_0 số xung trong một vòng, còn gọi là độ phân giải của bộ cảm biến tốc độ.

N số xung trong thời gian T_n .

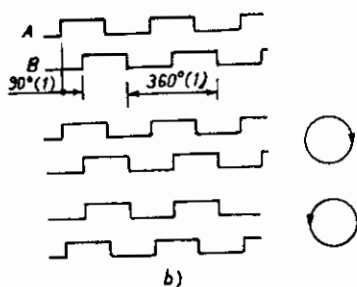
Để nâng cao độ phân giải của phép đo tốc độ ta có hai giải pháp :

- Một là tăng số lỗ trong một rãnh, ta có đĩa mã hóa gồm nhiều rãnh, mỗi rãnh có số lỗ tăng dần theo quan hệ 2^n , n là số rãnh (hình 6.4).

Ví dụ đĩa mã hóa trên hình 6.3a gồm có ba rãnh. Rãnh trong cùng gồm một nửa vòng tròn màu trắng suốt, một nửa mờ. Khi đọc rãnh này ta xác định được vị trí rôto đang ở nửa vòng tròn nào. Trường hợp này ứng với bit trọng lớn nhất (MSB). Rãnh giữa được chia thành bốn phần màu trắng suốt và mờ liên tiếp nhau. Đọc rãnh này ta xác định được vị trí rôto đang ở 1/4 vòng tròn. Các rãnh tiếp theo cho ta xác định được vị trí một phần tám, một phần mười sáu... của vòng tròn. Rãnh ngoài cùng cho ta độ chính xác cuối cùng ứng với bit trọng nhỏ nhất (LSB). Hình 6.3b là đĩa mã hóa tuyệt đối gồm 12 rãnh.

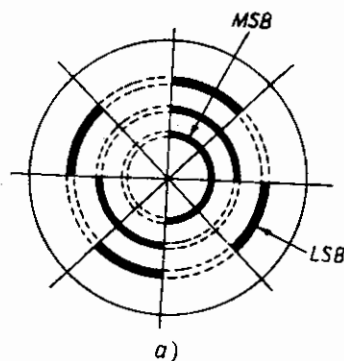


a)



b)

Hình 6.2. a) Bộ cảm biến quang tốc độ hai chiều quay ; b) Xác định chiều quay bằng so sánh pha 2 tín hiệu.



a)



b)

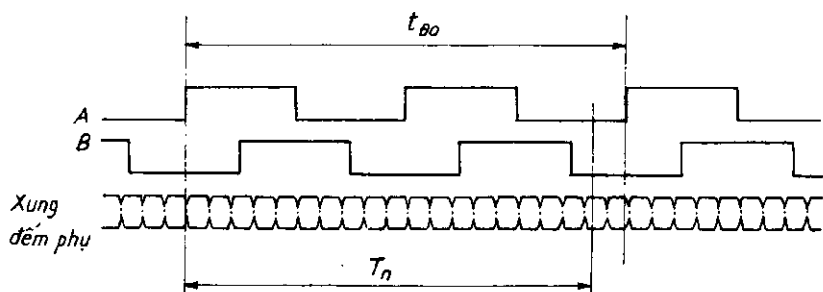
Hình 6.3. Đĩa mã hóa tuyệt đối
a) Trường hợp 3 rãnh ; b) Trường hợp 12 rãnh.

- Hai là phân phối điểm xung và đo thời gian. Bên cạnh việc đếm xung ở trên ta đo khoảng thời gian, ví dụ t_{D0} trên hình 6.4. Giữa hai sườn xung lân cận thời điểm bắt đầu và kết thúc chu kỳ T bằng cách đồng thời đếm một chuỗi phụ có tần số cố định. Trường hợp này công thức (6.1) trở thành :

$$n = \frac{60N}{4N_0\Delta t} = f(N_0, \Delta t) \quad (6.2)$$

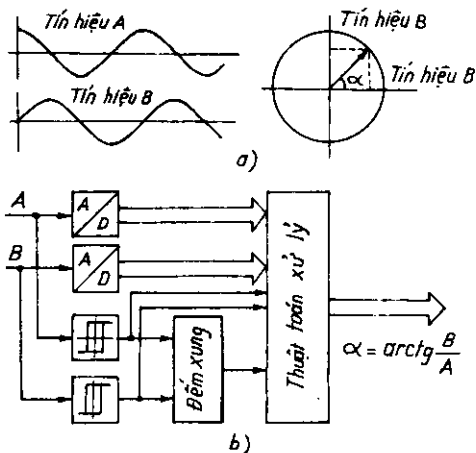
Đạo hàm riêng của n , với $\Delta t = t_{D0} \approx T_n$ được

$$dn = \frac{60}{4N_0\Delta t} dN_0 - \frac{n}{\Delta t} d(\Delta t) \approx - \frac{n}{\Delta t} d(\Delta t) \quad (6.3)$$



Hình 6.4. Hai kênh tín hiệu ra lệch nhau 90° A và B của máy phát xung.

Nếu xung đếm phụ có độ phân giải thời gian $d(\Delta t) = 50$ ns, khi $n = 3000$ vg/ph theo (6.3) ta xác định được độ phân giải $dn = 0,15$ vg/ph tạo điều kiện ổn định tốc độ n với độ chính xác rất cao. Phương pháp đo thời gian phối hợp đếm xung có độ phân giải không còn phụ thuộc vào độ phân giải của đĩa mã hóa mà chỉ phụ thuộc vào tần số của chuỗi xung phụ đo thời gian (hình 6.4). Nhiều bộ cảm biến quang tốc độ không cấp tín hiệu A, B chữ nhật mà có dạng sin như hình 6.5a.



Hình 6.5. a) Máy phát xung với hai kênh A, B có tín hiệu dạng sin ;
b) Sơ đồ nguyên lý của mạch đo.

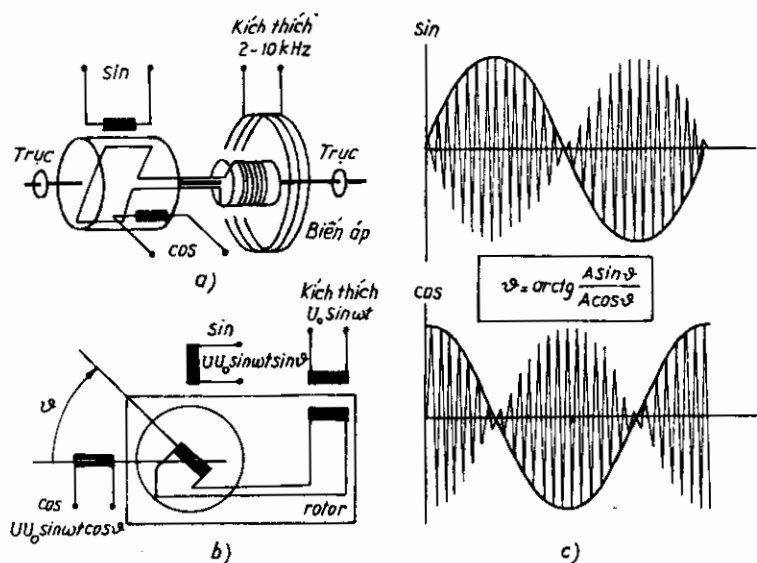
Hai tín hiệu A, B được đưa qua mạch trigơ (hình 6.5b) để tái tạo lại dạng chữ nhật sau đó sử dụng như tín hiệu đo tốc độ thông thường có kèm theo khả năng nhân bốn.

Trong mỗi xung có khả năng đọc các giá trị sin, cos. Bằng cách xác định $\alpha = \arctg (B/A)$ ta thực hiện nội suy vị trí trong bản thân một xung chữ nhật, nhờ đó nâng độ phân giải của phép đo lên 18 - 20 bit/1 vòng. Bộ cảm biến quang tốc độ bằng đĩa mã hóa thông dụng ngoài hai kênh A và B còn cấp xung "O" tín hiệu về một góc cố định của trục quay tạo điều kiện sử dụng trong hệ truyền động động cơ đồng bộ.

6.1.2. Sử dụng máy đo góc tuyệt đối (Resolver)

Máy đo góc tuyệt đối có cấu tạo gồm hai phần : phần động gắn liền với trục quay động cơ chứa cuộn sơ cấp được kích thích bằng sóng mang tần số 2 - 10 kHz qua máy biến áp quay (hình 6.6a). Phần tĩnh có hai dây quấn thứ cấp (cuộn sin và cuộn cos) đặt lệch nhau 90° . Đầu ra của hai dây quấn thứ cấp ta thu được hai tín hiệu điều biến $UU_0 \sin\omega t \sin\theta$ và $UU_0 \sin\omega t \cos\theta$ (hình 6.6b).

Đường bao của biên độ kênh tín hiệu ra chứa thông tin về vị trí tuyệt đối (góc θ) của rôto máy đo, có nghĩa là vị trí tuyệt đối của rôto động cơ (hình 6.6c).



Hình 6.6. Máy đo góc tuyệt đối

a) Cấu tạo ; b) Sơ đồ nguyên lý ; c) Hai kênh tín hiệu ra.

Có hai cách thu thập thông tin về θ . Cách thứ nhất là hiệu chỉnh sửa sai góc thu được trên cơ sở so sánh góc và được cài đặt sẵn trong một số vi mạch sẵn có. Các vi mạch này cho tín hiệu góc dạng số với độ phân giải 10 - 16 bit/1 vòng và một tín hiệu tốc độ quay dạng tương

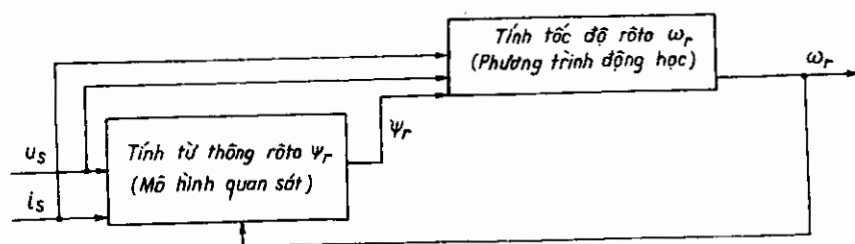
tự. Do cần sử dụng khâu điều chỉnh I hoặc PI để sửa sai lệch góc nên chiều rộng dải tần và độ phân giải cho phép phụ thuộc vào thông số của mạch điều chỉnh. Cách thứ hai có chất lượng cao hơn là dùng hai bộ đối tượng tự - số để lấy mẫu trực tiếp từ đỉnh tín hiệu điều chế. Trong trường hợp này cần đồng bộ chặt chẽ giữa thời điểm lấy mẫu và khâu tạo tín hiệu kích thích $2 \div 10 \text{ kHz}$ sau đó dùng bộ lọc để chuyển xung chữ nhật thành tín hiệu kích thích hình sin. Ngoài ra phải có biện pháp giảm sai số truyền dẫn tín hiệu từ bộ cảm biến đặt ở động cơ đến bộ vi xử lý đặt ở bàn điều khiển.

Độ phân giải của phép đo dùng máy đo góc tuyệt đối hoàn toàn phụ thuộc vào độ phân giải của bộ đối tượng tự số. Ví dụ khi sử dụng bộ đối tượng tự số có độ phân giải 12 bit, góc θ đo được với độ phân giải cỡ 12800 xung/1 vòng. Máy sử dụng thuận lợi cho cả hai loại động cơ xoay chiều, đặc biệt động cơ không đồng bộ là loại cần biết giá trị tuyệt đối của vị trí rôto. Khi đạo hàm góc quay θ ta thu được tốc độ ω của rôto.

Máy đo góc tuyệt đối ít nhạy với nhiệt độ và ít bị nhiễu điện từ, tuy vậy chúng không đạt được độ phân giải cao như bộ cảm biến quang tốc độ với tín hiệu hình sin.

6.1.3. Phương pháp không sử dụng bộ cảm biến tốc độ

Các phương pháp sử dụng máy phát tốc độ hoặc bộ cảm biến tốc độ giới thiệu ở trên có một số nhược điểm. Nó làm cho hệ thống truyền động không đồng nhất do phải lắp thêm vào trục động cơ các cảm biến, trong một số trường hợp không thể thực hiện được, ví dụ như trong hệ truyền động cao tốc, trong ô tô, hoặc trong khi động cơ làm việc trong môi trường độc hại. Hơn nữa nhiễu do truyền dẫn tín hiệu từ bộ cảm biến đến tủ điều khiển có thể ảnh hưởng tới hệ thống.



Hình 6.7. Sơ đồ khối tính toán tốc độ rôto.

Hệ thống truyền động mới không sử dụng bộ cảm biến khắc phục được các nhược điểm trên. Ý tưởng của hệ thống này là tốc độ động cơ được ước lượng từ điện áp và dòng điện stato và sử dụng làm tín hiệu phản hồi của mạch vòng điều chỉnh tốc độ. Để giải quyết vấn đề xác định tốc độ ta phải giải quyết hai vấn đề :

- Một là tính toán tốc độ từ hệ phương trình động học của động cơ biểu thị quan hệ giữa điện áp, dòng điện stato và từ thông rôto.

- Hai là xây dựng mô hình quan sát với tốc độ là một tham số tính toán từ thông rôto. Cấu trúc và tham số của mô hình quan sát được lựa chọn theo tiêu chuẩn ổn định và hội tụ. Sơ đồ khối bộ tính toán tốc độ cho trên hình 6.7.

6.2. TỐC ĐỘ KẾ SỢI QUANG

Tốc độ kế laser hiệu ứng Doppler là dụng cụ đo tốc độ của các đối tượng bằng cách truyền dẫn (đối với dòng chất lỏng) hoặc bằng phản xạ (đối với vật rắn chuyển động dưới đầu laser). Dải đo rất rộng từ $10^{-6} + 10^5$ m/s. Phép đo không làm thay đổi chuyển động của hệ.

Nguyên lý tốc độ kế sợi quang là chiếu sáng đối tượng cần đo tốc độ bằng một lưới các vân sáng. Ánh sáng khuếch tán từ đối tượng tuân theo hiệu ứng Doppler nghĩa là tần số của nó khác với tần số ánh sáng nguồn. Độ lệch tần số này phụ thuộc vào tốc độ của vật.

Trong trường hợp cần đo tốc độ dòng chảy nên cho vào dòng chảy các hạt kích thước đủ nhỏ để không làm ảnh hưởng đến tốc độ dòng chảy. Các hạt này sẽ khuếch tán ánh sáng khi có nguồn sáng cắt qua. Tín hiệu quang do các hạt phát ra được điều biến cường độ bằng các vân tối, sáng với tần số tỷ lệ với tốc độ dòng chảy.

Tần số điều biến ánh sáng do các hạt khuếch tán là :

$$f = |V|/y \quad (6.4)$$

với $|V|$ thành phần tốc độ của các hạt vuông góc với vân sáng
 y khoảng cách giữa các vân.

Theo một phương pháp khác hạt cắt qua một trong hai tia sáng không song song đến từ một nguồn laser He-Ne. Ta nhận được hai tia khuếch tán từ hạt, mỗi tia được đặc trưng bằng một tần số Doppler. Giao thoa của hai tia này tạo nên một phách tần số f suy ra biến độ của tốc độ nhưng không cho biết chiều chuyển động. Có thể khắc phục khó khăn này bằng cách sử dụng hai tốc độ kế vuông góc. Ta đã biết hai thành phần tốc độ do vậy có thể xây dựng được vectơ V .

Ta cũng có thể điều pha Φ của một trong hai tia ở tốc độ $d\Phi/dt$ nhờ khối Bragg. Các vân lệch pha với tốc độ V_0 :

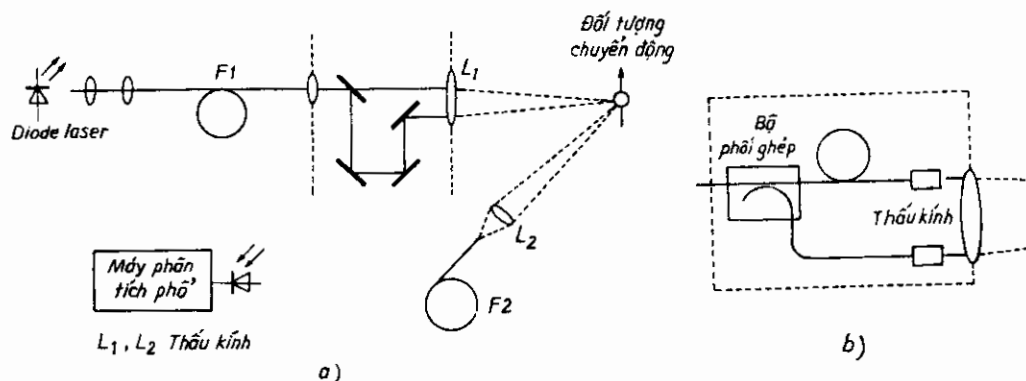
$$V_0 = \frac{y}{2\pi} \cdot \frac{d\phi}{dt} \quad (6.5)$$

và ánh sáng khuếch tán bị điều biến ở tần số

$$f = |V - V_0| / y \quad (6.6)$$

Ta chọn $d\Phi/dt$ sao cho V_0 luôn lớn hơn biên độ vận tốc V của các hạt. Theo phương pháp này ta biết cả độ lớn và chiều của tốc độ.

Một diot laser có thể sử dụng trước khối laser Bragg dùng để điều biến dòng phát. Các sợi quang phối hợp với một diot quang để tạo nên thiết bị đo tốc độ hoàn chỉnh (hình 6.8), với diot laser bước sóng 850 nm, công suất 5 mW, F_1 sợi đơn mode dài 5m, F_2 sợi đa mode 5m.



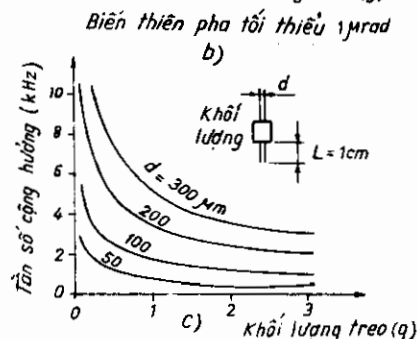
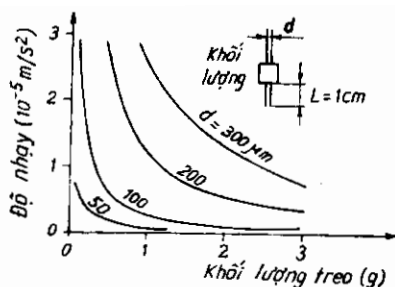
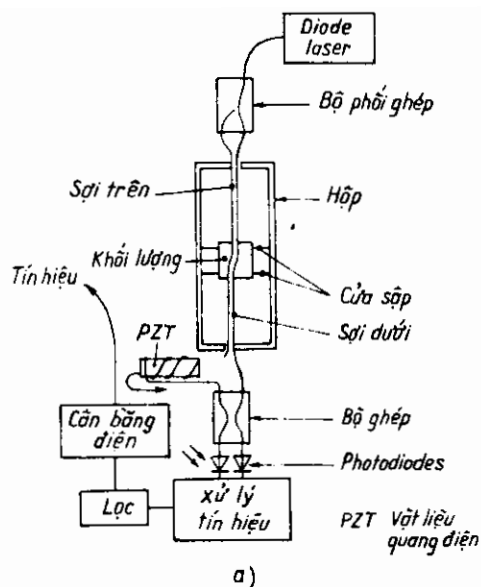
Hình 6.8. Đo tốc độ kế Doppler diot laser và sợi quang

- Chia chùm tia chiếu qua vật đo vận tốc bằng hệ thống quang học thông thường;
- Chia chùm tia bằng bộ nối ghép quang.

6.3. GIA TỐC KẾ SỢI QUANG

Gia tốc kế được sử dụng rộng rãi để theo dõi chấn động của các máy quay. Nói chung nó cho biết tình trạng cân bằng kém và tìm các biện pháp khắc phục.

Gia tốc kế sử dụng giao thoa sợi quang có độ nhạy cao nhất. Gia tốc cần đo tác động vào một hệ gồm một khối lượng khoảng 1 gam, một phần tử treo đàn hồi giữa hai sợi quang dài khoảng 1 cm tạo nên hai nhánh của một giao thoa kế Michelson hoặc Mach-Zehndes (hình 6.9a). Nếu gia tốc đặt trên trục các sợi lực quán tính dẫn đến sự sai khác bước giữa hai sợi.



Hình 6.9. Gia tốc kế sợi quang trong giao thoa kế Mach-Zehnder

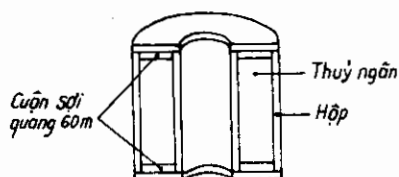
a) Nguyên lý ; b) Đường cong độ nhảy ; c) Quan hệ giữa tần số cộng hưởng và khối lượng vật treo.

Một phương án khác là gia tốc kế hai cuộn dây sợi quang phân cách bằng một ngăn chứa đầy chất lỏng (hình 6.10).

Mỗi cuộn dây là một nhánh của giao thoa kế. Khi ngăn được gia tốc dọc theo trục đối xứng của nó, áp suất vi sai sinh ra trong chất lỏng được truyền vào các sợi quang và tạo nên các bước sóng khác nhau, có thể khai thác để đo đạc.

Gia tốc kế sợi quang điều chỉnh độ sáng được viện ESIEE kết hợp với Optofra và EDF nghiên cứu sử dụng sợi quang đa mode có một

dầu định vị ở tâm của một gương cầu. Cường độ ánh sáng phản xạ bởi gương được điều biến bằng một dầm dao động bằng Si đặt phía trước sợi. Độ tuyến tính của gia tốc kế là $\pm 1,2\%$ trong vùng gia tốc từ 0,1g đến 22g. Độ tuyến tính về tần số là $\pm 1\%$ trong dải tần số 0 đến 100 Hz, độ nhạy nhiệt độ 0,2% độ. Cảm biến này dùng để theo dõi dao động của máy quay trong một mạng dẫn kênh theo bước sóng.



Hình 6.10. Gia tốc kế hai cuộn sợi quang.

6.4. ĐỐI HƯỚNG KẾ SỢI QUANG

Đối hướng kế sợi quang bắt đầu được chú ý từ năm 1976 với V.Vali và R. W.Shorthill ở trường đại học Utah. Nhiều chương trình nghiên cứu của Mỹ, Nhật và Pháp thúc đẩy hoàn thiện các đối hướng kế sợi quang sử dụng trong quân sự và hàng không. Ứng dụng thứ hai của đối hướng kế sợi quang là trong ô tô.

Đối hướng kế sợi quang đơn mode khai thác giao thoa kế Sagnac (hình 6.11). Với một sợi quang chiều dài L bố trí thành một vòng bán kính R quay với vận tốc Ω hiệu số pha giữa hai chùm tia có chiều ngược nhau xuất phát từ giao thoa kế là :

$$\Delta\Phi = 4\pi RL \Omega / \lambda_0 C \quad (6.7)$$

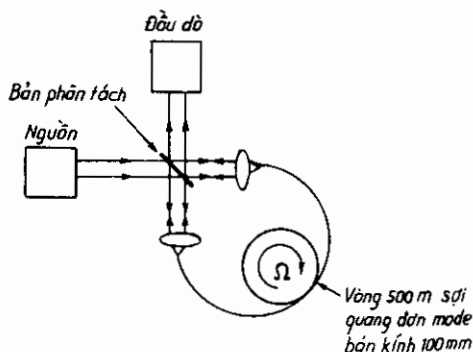
λ_0 là bước sóng tia laser

C vận tốc ánh sáng.

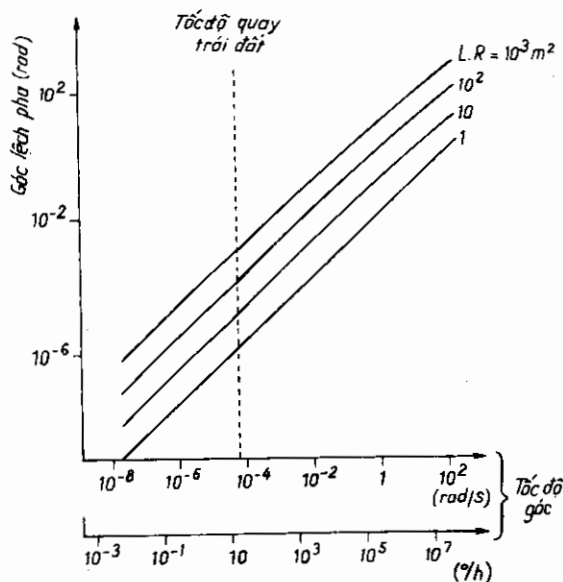
Với $L = 500m$, $R = 100mm$,
 $\lambda_0 = 1\mu m$, $\Omega = 0,1^\circ/\text{giờ}$ góc lệch pha là 1μ rad.

Nói chung tốc độ quay mà đối hướng kế laser từ $0,1$ đến $400^\circ/\text{giờ}$. Dải pha cần đo từ 10^{-7} đến 10 rad. Có thể dùng kỹ thuật phát hiện ngoại sai hoặc một tần số.

Đối hướng kế có chất lượng rất tốt. Các nhiễu loạn tác động như nhau đối với hai đường tia sáng ngược chiều nhau của giao thoa kế Sagnac. Chỉ có sự quay tạo nên sự lệch pha và có thể đo được góc lệch pha này. Công nghệ chế tạo hiện nay cho phép đạt được độ nhạy về pha 10^{-6} đến 10^{-7} (hình 6.12).



Hình 6.11. Đối hướng kế sợi quang.



Hình 6.12. Sự lệch pha của tia sáng trong giao thoa kế Sagnac do sự quay.

Phương án cấu trúc thuận nghịch (hình 6.13) gồm một sợi quang đơn mode và một bộ lọc phân cực vào/ra của giao thoa kế. Hệ thống cho phép khắc phục sự không thuận nghịch của bộ phân cách và loại trừ được hiện tượng lưỡng chiết tổn tại trong sợi quang.

- Tiến hành điều biến và giải điều pha

- Nguồn sáng liên kết yếu như diốt quang cho phép khắc phục sự tương phản của các sóng nhiễu, nhất là sóng trở về. Diốt này tạo nên liên kết không gian cần thiết cho việc ghép nối có hiệu quả trong sợi quang đơn mode của giao thoa kế.

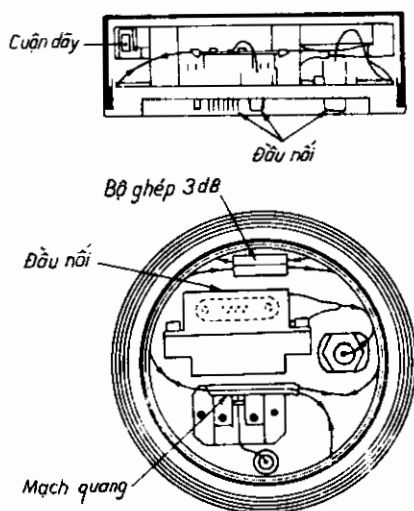
- Các sợi bảo toàn phân cực loại trừ tính không thuận nghịch của lưỡng chiết.

- Xử lý tín hiệu trong mạch vòng kín để tuyến tính hóa và ổn định thang đo.

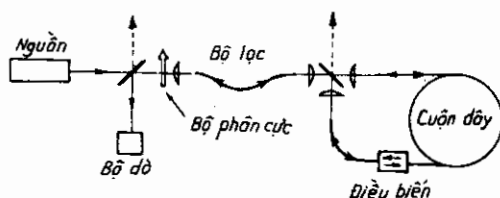
Điều chỉnh bước sóng nguồn cho phép đảm bảo tính ổn định.

Nguyên lý này cũng có thể được áp dụng cho các sợi đa mode, cho các ứng dụng dân sự không đòi hỏi tính năng quá cao nhưng có giá thành hạ.

Kỹ thuật này được tích hợp : các sợi quang của giao thoa kế Sagnac được phối ghép với laser và bộ phát hiện bằng đầu nối ống dẫn sóng đơn mode được chế tạo trên một đế như niobate liti.



a) Ví dụ phương án đường kính 80 mm



b) Cấu hình tương hỗ của đối hướng kế sợi quang

Hình 6.13. Cấu trúc tối ưu của đối hướng kế sợi quang.

6.5. ĐỔI HƯỚNG KẾ CON QUAY HỒI CHUYỂN

Đổi hướng kế hoạt động dựa theo nguyên lý quay hai-ba bậc tự do của con quay hồi chuyển có sơ đồ cho trên hình 6.14.

Con quay hồi chuyển được lắp trên một khung động và quay quanh trục YY' với tốc độ lớn ($\sim 10^4$ vg/ph) nhờ một động cơ. Tốc độ quay ω cần đo theo trục ZZ' vuông góc với YY' làm xuất hiện một ngẫu lực C_g tỷ lệ với ω theo hướng $X'X$ và có xu hướng làm cho khung động của con quay hồi chuyển quay theo. Ngẫu lực C_g được cân bằng bởi ngẫu lực đàn hồi C_r do hai lò xo gây nên và có giá trị tỷ lệ với góc α của khung.

Ở trạng thái cân bằng

$$C_g = C_r \quad (6.8)$$

trong đó $C_r = k\alpha$, k là hằng số đàn hồi của lò xo. $C_g = \omega H$, H là mômen động của rôto. Từ đó suy ra góc quay α

$$\alpha = \omega \frac{H}{k} \quad (6.9)$$

Góc quay α của khung động của con quay hồi chuyển tỷ lệ với vận tốc góc cần đo ω .

Góc α được mã hóa Hình 8.14. Sơ đồ nguyên lý con quay hồi chuyển thành tín hiệu điện.

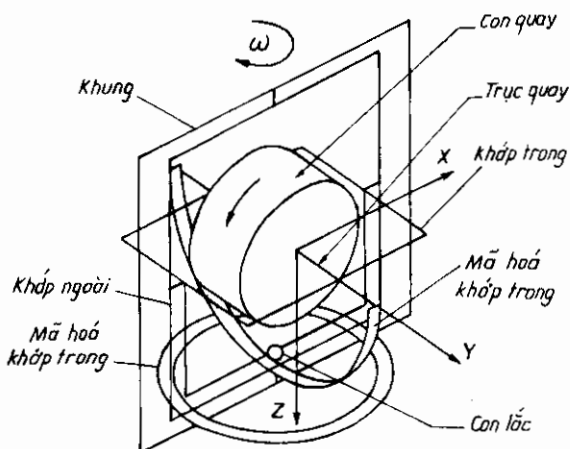
Các thông số chính của dụng cụ :

- Dải đo từ $\pm 7^\circ/\text{s}$ đến $360^\circ/\text{s}$
- Độ sai lệch $< \pm 1,5\%$ dải đo.

Để đạt được tính năng tối ưu trục quay của con quay hồi chuyển ở vị trí định mức. Người ta sử dụng khối con lắc trên khớp trong để đảm bảo vị trí lúc xuất phát. Nhưng trong quá trình hoạt động do ma sát trục quay có thể bị di chuyển. Con lắc sẽ tác động sinh ra mômen bù. Do hiệu ứng hồi chuyển mômen này sẽ cảm ứng tiến động khớp ngoài. Hiện tượng này được diễn tả bởi phương trình

$$T = \Omega \times H \quad (6.10)$$

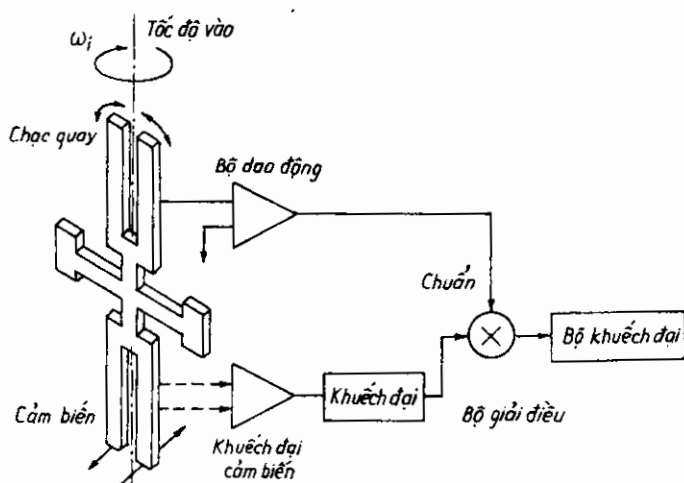
trong đó T là vectơ ngẫu lực do con lắc, Ω là tốc độ tiến động, tác động



cùng chiều quay và góc chuyển dịch nhỏ nhất sẽ được chuyển thành hiệu chuyển động giữa khớp ngoài và khung. Hiện tượng này gọi là độ trệch hướng và được bù bằng chuyển động của con lắc.

6.6. CẢM BIẾN TỐC ĐỘ QUAY THẠCH ANH

Việc sử dụng phần tử dao động để đo tốc độ quay ứng dụng nguyên lý Coriolis đã được biết từ 50 năm nay. Cảm biến tốc độ thạch anh QRS (Quartz Rate Sensor) được sử dụng có kết quả trong thực tế vì có kích thước nhỏ, tiêu thụ công suất bé. Các con quay hồi chuyển kích thước lớn thời gian sử dụng cỡ vài trăm giờ được dùng cho mục đích quân sự và dẫn đường máy bay. Cảm biến tốc độ quay thạch anh có kích thước cỡ miếng thạch anh trong đồng hồ thạch anh có cấu tạo trên hình 6.15, gồm hai phần : phần quay và cảm nhận.



Hình 6.15. Cảm biến thanh thạch anh quay.

Phần quay tác động chính xác như một chạc quay có kích thước nhỏ. Mỗi chạc có khối lượng và tốc độ hướng kính biến thiên hình sin. Khi quay ổn định mômen động của hai chạc bằng không và không có năng lượng truyền từ các chạc vào đế. Để duy trì chạc quay cần công suất 6 μW .

Khi chạc quay quanh trục đối xứng, lực Coriolis ảnh hưởng tới hệ thống được tính theo công thức :

$$F = 2m\omega x V_r \quad (6.11)$$

m là khối lượng chạc

ω tốc độ góc

V_r tốc độ hướng kính.

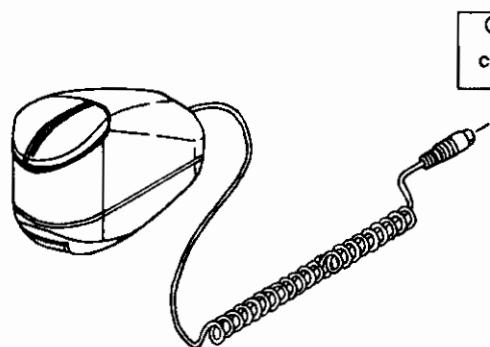
Vì tốc độ hướng kính của chạc là hình sin, đối với hai chạc là bằng nhau và ngược chiều do đó lực Coriolis bằng nhau và ngược chiều sinh ra mômen dao động của đế tỉ lệ với tốc độ góc đầu vào. Phần cảm biến cảm nhận lực tỷ lệ với tốc độ quay, do đó khi các chạc cảm biến không chuyển động QRS phát hiện góc quay bằng không.

Khi cảm biến quay xuất hiện điện áp tỷ lệ với tốc độ quay, điện áp này được khuếch đại và xử lý.

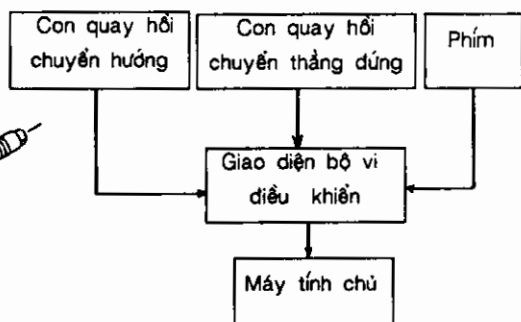
Cảm biến QRS có thời gian sử dụng trung bình 100.000 giờ, được sử dụng trong kỹ thuật đo lường và điều khiển.

6.7. ỨNG DỤNG CON QUAY HỒI CHUYỂN ĐIỀU KHIỂN CHUỘT

Cần thiết bị điều khiển chuột một cách linh hoạt do yêu cầu của các phương tiện thông tin đại chúng và thị trường TV. Con trỏ hồi chuyển (Gyro Point) sử dụng hai con quay hồi chuyển kích thước nhỏ để điều chỉnh con chạy màn hình trong không gian ba chiều. Thiết bị có hình dáng ngoài cho trên hình 6.16. Con quay thẳng đứng được sử dụng để đo góc bước (pitch) còn con quay hướng được sử dụng để đo góc trệch tương đối (yaw). Đầu ra được điều khiển bởi bộ vi điều khiển 8 bit liên hệ với máy tính chủ qua giao diện nối tiếp. Chuyển động phải/trái (pitch) và lên xuống (yaw) điều khiển chuyển động của con chạy (hình 6.17). Bằng cách sử dụng cảm biến quán tính người sử dụng không bị giới hạn trên mặt phẳng như trường hợp điều khiển chuột thông thường. Dụng cụ



Hình 6.16. Con trỏ hồi chuyển.



Hình 6.17. Sơ đồ khối con trỏ hồi chuyển.

tỏ ra ưu việt khi sử dụng. Trong nhiều trường hợp người sử dụng quay lưng lại màn hình và đối diện với thính giả mà vẫn điều khiển dễ dàng con chạy.

Đối hướng kế loại nhỏ có kích thước cuộn phim 35 mm, độ trôi 5%/phút với kỹ thuật bù có thể đạt 1 - 3 %/phút dùng điều khiển TV và ô tô. Ưu điểm của nó là kích thước nhỏ giá thành hạ.

6.8. GIA TỐC KẾ RUNG

Hiện tượng rung cơ học của một vật có một bậc tự do quanh vị trí chuẩn có thể được sử dụng để đo gia tốc. Phương trình chuyển động của vật có khối lượng M quanh vị trí cân bằng được biểu diễn bằng phương trình :

$$Ms^2X(s) + bsX(s) + kX(s) = -MA(s) \quad (6.12)$$

ở đây $X(s)$ và $A(s)$ là biến đổi Laplace của $x(t)$ và d^2y/dt^2 . Giải (6.12) theo $X(s)$ ta được :

$$X(s) = \frac{-MA(s)}{Ms^2 + bs + k} \quad (6.3)$$

Đặt $\omega_0 = \sqrt{K/M}$ và $2\xi\omega_0 = b/M$ phương trình (6.13) trở thành :

$$X(s) = \frac{-A(s)}{s^2 + 2\xi\omega_0 s + \omega_0^2} \quad (6.14)$$

ω_0 là tần số dao động tự nhiên của hệ, ξ là hệ số tắt.

$$\text{Đặt} \quad G(s) = \frac{-1}{s^2 + 2\xi\omega_0 s + \omega_0^2} \quad (6.15)$$

Sử dụng biến đổi Laplace ngược ta tìm được di chuyển :

$$x(t) = \mathcal{L}^{-1}[G(s)A(s)] \quad (6.16)$$

Khi chế tạo và lắp đặt đúng, gia tốc kế phải có khả năng nhận dạng đúng tần số cộng hưởng. Sự thay đổi tần số rung đầu ra của cảm biến sẽ phản ánh chính xác trong đặc tính tần của gia tốc kế.

- Độ nhạy là tỷ số giữa điện áp ra với đại lượng cơ đưa vào thường tính bằng vôn trên đơn vị gia tốc, ví dụ 1 V/g ($g = 9,81 \text{ m/s}^2$), với tần số chuẩn là 100 Hz đối với Mỹ và 160 Hz đối với nhiều nước châu Âu.

- Đáp ứng tần số là tín hiệu ra trong khoảng tần số mà bộ cảm biến có thể hoạt động được.

- Tần số cộng hưởng trong bộ cảm biến không suy giảm là điểm cực đại, có thể lớn hơn tần số chuẩn 3 - 4 dB.

- Đầu ra có kích thích bằng không (đối với bộ cảm biến điện dung và áp trở) được quy định đối với vị trí của bộ cảm biến, ở đó trục nhạy vuông góc với gia tốc trọng trường. Trong bộ cảm biến có thành phần tín hiệu một chiều ở điện áp ra ảnh hưởng của trọng trường phải được khử trước khi xác định không có đầu vào cơ học.

- Độ tuyến tính của gia tốc kế được quy định trong dải động của các tín hiệu vào.

6.9. GIA TỐC KẾ ĐIỆN DUNG

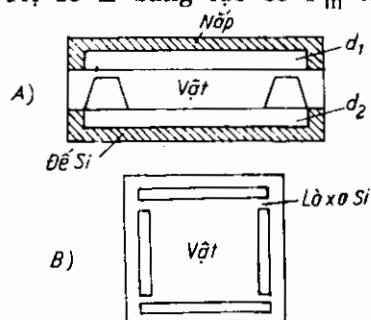
Trong gia tốc kế điện dung chứa ít nhất hai bộ phận. Bộ phận tĩnh gắn với vỏ hộp là một bản cực còn bản kia gắn với vật rung. Các bản cực này tạo nên một tụ điện có điện dung phụ thuộc vào gia tốc. Di chuyển cực đại mà gia tốc kế điện dung có thể đo được là $20 \mu\text{m}$. Do vậy di chuyển nhỏ đòi hỏi phải bù ảnh hưởng của sự trôi và nhiễu. Thông thường sử dụng thêm tụ điện bố trí có cùng cấu trúc. Trị số của tụ điện thứ hai phải gần bằng tụ thứ nhất và tạo nên lệch pha 180° và gia tốc tỷ lệ với hiệu trị số điện dung của hai tụ điện.

Hình 6.18,a là mặt cắt của gia tốc kế điện dung trong đó vật rung nằm giữa đế và đỉnh của bộ cảm biến silic. Vật rung được giữ bằng bốn lò xo silic (hình 6.18b). Bản trên và đế được phân cách bằng các khoảng cách d_1 và d_2 . Hình 6.19 là sơ đồ mạch tương đương trong đó C_{mc} là điện dung giữa vật rung và bản cực trên có diện tích S_1 . Tụ điện thứ hai C_{mb} là điện dung giữa vật rung và đế có diện tích S_2 . Khi vật chuyển động hướng lên trên d_2 tăng một lượng Δ . Trị số Δ bằng lực cơ F_m tác động lên vật chia cho hệ số lò xo k :

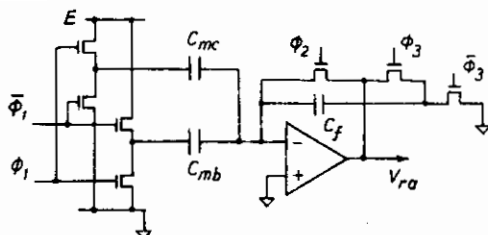
$$\Delta = \frac{F_m}{k} \quad (6.17)$$

Mạch tương đương của gia tốc kế chỉ đúng khi các lực tĩnh điện không gây ảnh hưởng đến vị trí của vật và điện dung phụ thuộc tuyến tính vào F_m .

Khi gia tốc kế sử dụng các tụ điện chuyển mạch đầu vào của bộ khuếch đại thuật toán, điện áp ra phụ thuộc vào trị số điện dung:



Hình 6.18. Gia tốc kế điện dung với tụ điện vi sai
A. Mặt cắt; B. Vật rung được giữ bằng 4 lò xo.



Hình 6.19. Sơ đồ mạch biến đổi từ điện dung sang điện áp bằng mạch tích hợp silic.

$$V_{ra} = 2E \frac{C_{mc} - C_{mb}}{C_f} \quad (6.18)$$

Công thức trên đúng với thay đổi nhỏ của điện dung. Điện áp ra cũng phụ thuộc vào nhiệt độ.

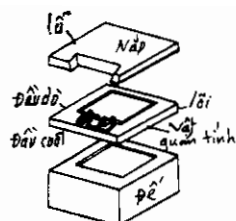
6.10. GIA TỐC KẾ ÁP TRỞ

Phần tử cảm nhận trong gia tốc kế áp trở là một đầu ứng suất, đo ứng suất trong lò xo đỡ vật rung. Ứng suất liên hệ với độ lớn và tốc độ chuyển động của vật, do đó cũng phụ thuộc vào gia tốc. Thiết bị đo được gia tốc trong dải từ 0 đến 13 kHz. Với thiết kế đặc biệt có thể chịu được rung động tới 10.000g. Sau đây là một số tính năng của gia tốc kế áp trở.

Đặc tính	Endevco Thông dụng	
Kích thước (mm)	1,65 x 1,78	
Dải gia tốc (g)	± 1000	± 1000
Độ nhạy (mV/g)	0,2	0,1 ÷ 0,25
Độ tuyến tính (%)	1	1 ÷ 3
Tần số cộng hưởng (kHz)	65	25
Độ nhạy ngang max (%)	3	3
Đầu ra kích thích zero (mV)	± 25	± 50
Dải nhiệt độ làm việc (°C)	-54 đến 135	-20 đến +65
Chịu sốc (g)	10000	5000
Trọng lượng (g)	0,8	1 đến 5

Hình 6.20 là cấu trúc gia tốc kế vi mạch dải rộng do Endevco phát triển. Vi cảm biến được chế tạo từ ba lớp silic. Lớp trong còn gọi là lõi chứa vật rung và bản lề đàn hồi. Vật rung được đỡ trên bản lề và có đầu áp trở. Khi gia tốc đặt theo trục nhảy vật rung quay quanh bản lề. Các đầu đo trên cả hai phía bản lề cho phép vật quay và tạo nên ứng

suất nén trên một phía và kéo trên phía kia. Vì các đầu do rất ngắn sự di chuyển nhỏ cũng làm thay đổi điện trở lớn. Để cân bằng điểm không của cầu áp trở có năm điện trở đặt trong cùng một tinh thể.



Hình 6.20. Cấu trúc của gia tốc kế áp trở.

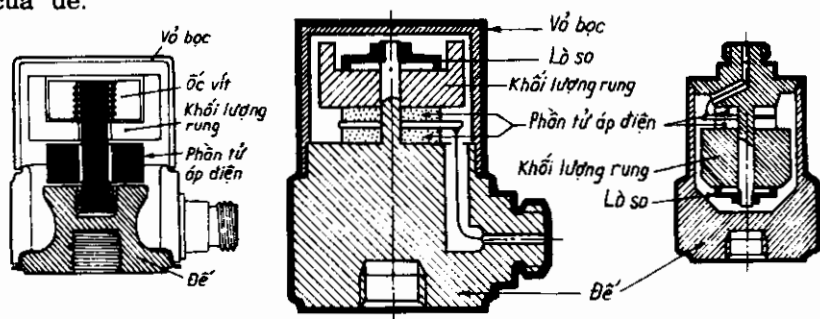
6.11. GIA TỐC KẾ ÁP ĐIỆN

Trong cảm biến gia tốc áp điện, vật rung được đặt trên phần tử áp điện. Phần tử áp điện sinh ra điện tích tỷ lệ với chuyển động của vật rung. Cảm biến và vật được gắn trên giá đỡ cứng và toàn bộ được đặt trong một hộp kín.

Tuy theo bản chất của lực tác dụng (nén, kéo, cắt) mà cần cơ cấu giữ vật liệu áp điện và phương tiện gắn chúng khác nhau. Thông thường người ta sử dụng hai loại gia tốc kế áp điện.

6.11.1. Gia tốc kế áp điện kiểu nén

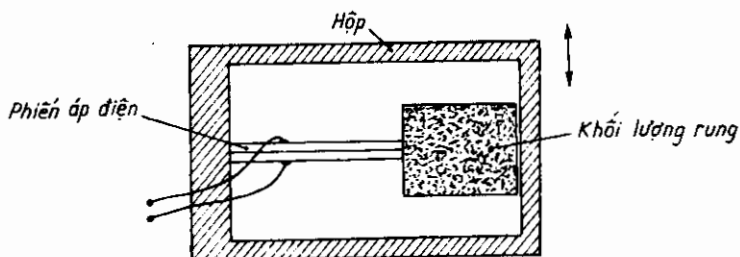
Cấu tạo của gia tốc kế áp điện kiểu nén được cho trên hình 6.21. Loại gia tốc kế này có tần số cộng hưởng cao, chắc chắn, nhạy với ứng suất của đế.



Hình 6.21. Gia tốc kế áp điện kiểu nén.

6.11.2. Gia tốc kế áp điện kiểu uốn cong

Mặt cắt của gia tốc kế áp điện kiểu uốn cong được cho trên hình 6.22. Phần tử cơ bản của gia tốc kế áp điện kiểu uốn là hai phiến áp



Hình 6.22. Gia tốc kế áp điện kiểu uốn.

điện mỏng được dán với nhau. Mỗi đầu phía điện áp được gắn với vật rung, do cấu trúc này gia tốc kế có độ nhạy cao. Dải tần số làm việc bị hạn chế bởi gia tốc rung thấp và tần số thấp.

6.11.3. Các thông số đặc trưng

Độ nhạy của gia tốc kế áp điện được cho bởi biểu thức :

$$S = \frac{Q}{\gamma} = S_1 \cdot S_2 \quad (6.19)$$

trong đó γ là gia tốc của bộ cảm biến

Q là điện tích tạo nên khi cảm biến rung với gia tốc γ

S_1 là độ nhạy cơ học của hệ thống vật rung

S_2 là độ nhạy điện của bộ cảm biến :

$$S_1 = \frac{1}{\omega_o^2 \sqrt{\left(1 - \frac{\omega^2}{\omega_o^2}\right)^2 + \left(2\xi \frac{\omega}{\omega_o}\right)^2}} \quad (6.20)$$

$$S_2 = d \cdot C \frac{1}{\sqrt{1 + \left(\frac{\omega_o}{\omega}\right)^2}} \quad (6.21)$$

Chương 7

CẢM BIẾN BIẾN DẠNG

7.1. KHÁI NIỆM CHUNG VỀ CẢM BIẾN BIẾN DẠNG

Khi chịu tác dụng của lực cơ học nói chung các cấu trúc đều chịu ứng suất và bị biến dạng. Việc đánh giá ứng suất và biến dạng là nhiệm vụ hàng đầu trong kỹ thuật cơ khí, trong xây dựng và trong cơ học vật rắn. Lý thuyết sức bền vật liệu đã chỉ rõ mối quan hệ giữa ứng lực và biến dạng. Các cảm biến đo biến dạng không chỉ giới hạn ở việc đo ứng lực cơ học mà qua đó có thể xác định các đại lượng cơ học khác như lực, áp suất, vận tốc, gia tốc...

Chương này trình bày nguyên lý chung của cảm biến biến dạng thường dùng trong công nghiệp như các loại đầu đo điện trở kim loại, đầu đo điện trở bán dẫn, ứng suất kế dây rung và các đầu đo dùng trong chế độ động. Trước hết ta tóm tắt các định nghĩa cơ bản của cơ học vật rắn.

Biến dạng ε : là tỷ số giữa biến thiên kích thước Δl và kích thước ban đầu l :

$$\varepsilon = \frac{\Delta l}{l} \quad (7.1)$$

Biến dạng gọi là đàn hồi khi ứng lực mất đi thì biến dạng cũng mất đi.

Giới hạn đàn hồi : là ứng lực tối đa không gây nên biến dạng cố định có giá trị lớn hơn 0,2%. Độ lớn của giới hạn đàn hồi được đo bằng kg/cm^2 .

- thép từ 20 đến 80
- đồng từ 3 đến 12
- chì từ 0,4 đến 1

Theo định luật Hooke trong vùng giới hạn đàn hồi ứng lực tỷ lệ với biến dạng do nó gây nên.

Modun Young Y xác định biến dạng theo phương của ứng lực

$$\varepsilon_{II} = \frac{1}{Y} \cdot \frac{R}{S} = \frac{1}{Y} \sigma \quad (7.2)$$

trong đó ứng lực $\sigma = \frac{F}{S}$

Đơn vị đo modun Young là $kg/luc/mm^2$. Sau đây là modun Young của một số vật liệu :

- thép từ 18.000 đến 29.000
- đồng từ 9900 đến 14000
- chì từ 500 đến 1400

Hệ số Poisson ν xác định biến dạng theo phương vuông góc với lực

$$\varepsilon_{\perp} = -\nu \varepsilon_{II}$$

trong vùng đàn hồi $\nu = 0,3$.

7.2. NGUYÊN LÝ CỦA CẢM BIẾN BIẾN DẠNG

Đầu đo biến dạng loại điện trở thường là sợi dây kim loại mảnh được gắn trực tiếp lên bề mặt cấu trúc cần khảo sát. Sự biến dạng của cấu trúc kéo theo biến dạng của cảm biến và làm cho điện trở của nó bị thay đổi.

Trong trường hợp tổng quát đầu đo là một lưới bằng dây dẫn mảnh có điện trở suất ρ , tiết diện s và chiều dài nl (n là số đoạn dây, l là chiều dài một đoạn dây. Đối với đầu đo kim loại thì $n = 10 + 20$ (hình 7.1a), còn đối với đầu đo bán dẫn $n = 1$ (hình 7.1b). Cảm biến được cố định trên đế cách điện, còn đế được gắn vào cấu trúc nghiên cứu (hình 7.1c).

Do chịu ảnh hưởng của biến dạng, điện trở của cảm biến thay đổi một lượng ΔR được xác định bằng biểu thức :

$$\frac{\Delta R}{R} = \frac{\Delta l}{l} = \frac{\Delta S}{S} + \frac{\Delta \rho}{\rho} \quad (7.3)$$

Biến dạng dọc của sợi dây dẫn đến sự thay đổi kích thước tiết diện ngang a và b (nếu dây có tiết diện hình chữ nhật) và đường kính d (nếu dây có tiết diện tròn).

Quan hệ giữa biến dạng ngang và dọc theo quy luật :

$$\frac{\Delta a}{a} = \frac{\Delta b}{b} = \frac{\Delta d}{d} = -\nu \frac{\Delta l}{l} \quad (7.4)$$

ở đây ν là hệ số Poisson, trong vùng đàn hồi $\nu = 0,3$. Vì tiết diện dây $S = ab$ hoặc $S = \pi d^2/4$ nên ta có :

$$\frac{\Delta S}{S} = -2\nu \frac{\Delta l}{l} \quad (7.5)$$

Đối với đầu đo kim loại :

$$\frac{\Delta R}{R} = K \cdot \frac{\Delta l}{l} \quad (7.6)$$

trong đó K là hệ số đầu đo thường gần bằng 2.

Đối với đầu đo bán dẫn $K \approx 100 \div 200$, đầu của K phụ thuộc vào loại bán dẫn. Đầu đo bán dẫn thích hợp với những trường hợp đo biến dạng nhỏ để đo lực, áp suất và gia tốc. Điện trở của đầu đo có các giá trị chuẩn với độ chính xác $\pm 0,2 \div \pm 10\%$ và nằm trong khoảng từ 100 Ω đến 5000 Ω .

7.3. CÁC LOẠI ĐẦU ĐO KIM LOẠI

Điện trở suất ρ của phần lớn các kim loại giảm khi có ứng suất tác động lên chúng. Các kim loại sử dụng làm điện trở phần lớn thuộc họ hợp kim Ni. Trên hình 7.2 trình bày các dạng đầu đo dây kim loại.

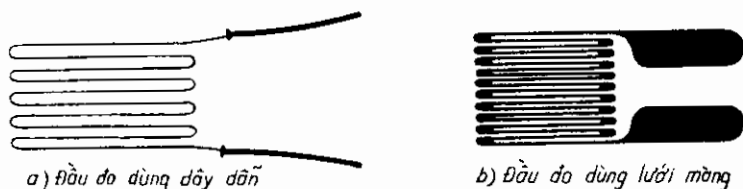
Bảng 7.1 liệt kê các thành phần hợp kim thông dụng và hệ số đầu đo tương ứng. Các vật liệu khác nhau ở tính chất nhiệt và độ ổn định ở nhiệt độ cao.

Đầu đo dây kim loại có đường kính rất mảnh $d \approx 20 \mu m$, giá đỡ 0,1 mm (giấy) hoặc 0,03 mm (epoxy). Các đầu đo dùng lưới màng (hình 7.2b) thường được chế tạo bằng phương pháp mạch in để giảm kích thước và cho phép đo từng điểm.

Bảng 7.1.

Các hợp kim thông dụng trong đầu đo kim loại

Hợp kim	Thành phần	Hệ số đầu đo K
Constantan	45% Ni, 55% Cu	2,1
Isoelastic	52% Fe, 36% Ni, 8% Cr (Mn, Mo)	3,5
Karma	74% Ni, 20% Cr, 3% Cu, 3% Fe	2,1
Nichrome V	80% Ni, 20% Cr	2,5
Platin - Vonfram	92% Pt, 8% W	4,1



Hình 7.2. Các đầu đo kim loại.

Các thông số chủ yếu của đầu đo kim loại là :

- Điện trở suất : điện trở suất của vật liệu phải đủ lớn để tránh dây kim loại quá dài làm tăng kích thước của bộ cảm biến nhưng tiết diện không nên quá nhỏ để dòng điện đo đủ lớn nhằm tăng độ nhạy.

- Hệ số đầu đo K thường từ $2 \div 3$, ngoại trừ Isoelastic có $K = 3,5$ và Platin - Vonfram có $K = 4,1$.

- Ảnh hưởng của lực đến độ tuyến tính : trong giới hạn đàn hồi hệ số đầu đo không đổi do quan hệ tuyến tính giữa điện trở và biến dạng. Ngoài giới hạn đàn hồi độ dẫn dài $\Delta l/l > 0,5\% \div 20\%$ tùy theo vật liệu, hệ số đầu đo ≈ 2 .

- Ảnh hưởng của nhiệt độ : Nói chung K ít chịu ảnh hưởng của nhiệt độ. Trong dải nhiệt độ tương đối rộng

$$K(T) = K_0 \{1 + \alpha_K(T - T_0)\} \quad (7.7)$$

trong đó K_0 là hệ số đầu đo ở nhiệt độ chuẩn T_0 (thông thường $T_0 = 25^\circ\text{C}$).

Giá trị của α_K đối với một số chất như sau :

- Nichrome V : $\alpha_K = -0,04\%/^\circ\text{C}$,

- Constantan : $\alpha_K = +0,01\%/^\circ\text{C}$.

- Độ nhạy ngang : Ngoài các nhánh dọc có điện trở R_L còn có các đoạn vuông góc với nhánh dọc có độ dài l_t và điện trở R_t , đoạn này nhạy với biến dạng ngang.

Điện trở của cảm biến là tổng điện trở của các đoạn dây dọc và ngang, nghĩa là $R = R_L + R_t$, do đó :

$$\frac{\Delta R}{R} = \frac{\Delta R_L}{R} + \frac{\Delta R_t}{R} \quad (7.8)$$

với
$$\frac{\Delta R_L}{R_L} = K \cdot \frac{\Delta l}{l} \text{ và} \quad (7.9)$$

$$\frac{\Delta R_l}{R_l} = K \cdot \frac{\Delta l_l}{l_l} \quad (7.10)$$

Thực tế $R_l \ll R_l$.

7.4. CẢM BIẾN ÁP TRỞ SILIC

7.4.1. Nguyên lý

Hiệu ứng áp trở trong silic đã được phát hiện từ năm 1954. Sự thay đổi điện trở của vật rắn dưới tác dụng của ứng suất, đối với Si được cho bởi phương trình :

$$\frac{\Delta R}{R} = \frac{\Delta \rho}{\rho} + \frac{\Delta l}{l} - \frac{\Delta \tau}{\tau} - \frac{\Delta \omega}{\omega} \quad (7.11)$$

ở đây R là điện trở,

ρ là điện trở suất,

l là chiều dài,

τ là chiều dày,

ω là chiều rộng của cảm biến silic.

Trong biểu thức (7.11), sự thay đổi điện trở suất $\Delta \rho$ đóng vai trò chủ yếu. Định luật Ohm

tổng quát có dạng :

$$[E] = [r][j] \quad (7.12)$$

trong đó E là vectơ cường độ điện trường, j là vectơ mật độ dòng điện. Quan hệ giữa tenxơ biến thiên điện trở suất và ứng suất được viết dưới dạng :

$$[\Delta r] = [\pi][s] \quad (7.13)$$

trong đó $[\Delta r]$ là ma trận sự thay đổi điện trở suất, π là ma trận hệ số của áp trở, $[s]$ là ma trận ứng suất. Đối với silic cấu trúc tinh thể lập phương ma trận hệ số áp trở là đối xứng có dạng :

$$[\pi] = \begin{bmatrix} \pi_{11} & \pi_{12} & \pi_{12} & 0 & 0 & 0 \\ \pi_{12} & \pi_{11} & \pi_{12} & 0 & 0 & 0 \\ \pi_{12} & \pi_{12} & \pi_{11} & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & \pi_{44} & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & \pi_{44} & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & \pi_{44} \end{bmatrix} \quad (7.14)$$

Biến thiên điện trở ΔR chủ yếu là biến thiên điện trở suất do các ứng suất phẳng và được biểu diễn dưới dạng :

$$\frac{\Delta R}{R} = \pi_l \sigma_l + \pi_t \sigma_t \quad (7.15)$$

l, t là chỉ số phương dọc và ngang.

Cảm biến áp trở đơn giản nhất được cho trên hình 7.3, đó là cảm biến bán dẫn hai cực. Biến thiên tương đối của điện trở :

$$\frac{\Delta R}{R} = K \cdot \Delta \varepsilon \quad (7.16)$$

K là hằng số cảm biến của Si, lớn hơn hằng số cảm biến thông dụng từ 50 ÷ 100 lần.

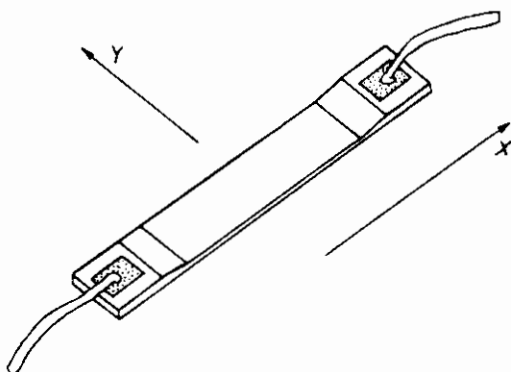
7.4.2. Cấu tạo

Cảm biến áp trở được chế tạo từ đơn tinh thể Si tinh khiết và thể hiện tính đối xứng, do vậy cần quy định các phương x, y và mặt phẳng của cảm biến. Hình 7.4 biểu diễn mạch tích hợp gồm 4 áp trở nối theo sơ đồ cầu Wheatstone.

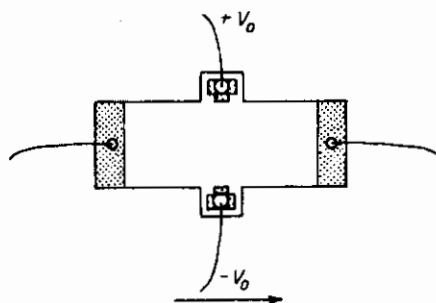
Điện áp ra V_o phụ thuộc vào dòng điện kích thích i và ứng suất mặt phẳng σ_{xy} :

$$V_o = i \cdot R \cdot \pi_{44} \cdot \sigma_{xy} \quad (7.17)$$

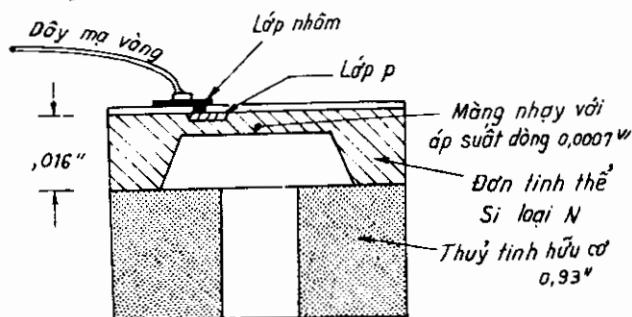
Cấu trúc của cảm biến áp trở mạch tích hợp silic được cho trên hình 7.5.



Hình 7.3. Cảm biến áp trở silic.



Hình 7.4. Mạch tích hợp 4 áp trở silic.



Hình 7.5. Cấu tạo của cảm biến áp trở mạch tích hợp.

7.4.3. Các thông số cơ bản của đầu đo silic

Là đầu đo bán dẫn nên độ pha tạp ảnh hưởng quyết định đến các đặc tính của chúng. Nói chung khi độ pha tạp tăng hệ số đầu đo K giảm, độ nhạy nhiệt độ giảm xuống, ngược lại độ tuyến tính tăng lên. Độ nhạy nhiệt giảm cho phép mở rộng dải nhiệt độ làm việc. Độ nhạy với bức xạ cũng giảm khi độ pha tạp tăng lên.

- Điện trở : Khi tăng nồng độ pha tạp, mật độ hạt dẫn trong vật liệu tăng lên và điện trở suất của chúng giảm đi. Biểu thức chung của điện trở suất có dạng :

$$\rho = \frac{1}{q(\mu_n n + \mu_p p)} \quad (7.18)$$

trong đó q là giá trị tuyệt đối của điện tích điện tử hoặc lỗ ($1,6 \cdot 10^{-19} \text{C}$), n và p là mật độ điện tử và lỗ trống tự do, μ_n và μ_p là độ linh động của chúng.

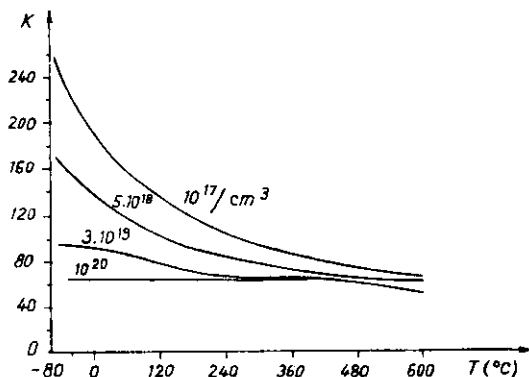
- Ảnh hưởng của nhiệt độ : Khi nhiệt độ nhỏ hơn 120°C hệ số nhiệt độ của nó có giá trị dương và giảm dần khi độ pha tạp tăng lên. Ở nhiệt độ cao điện trở suất giảm khi nhiệt độ tăng và hệ số nhiệt độ của nó có giá trị âm và không phụ thuộc vào độ pha tạp.

- Hệ số đầu đo K : Hệ số đầu đo phụ thuộc vào độ pha tạp. Khi độ pha tạp tăng lên, hệ số đầu đo giảm (hình 7.6).

Ví dụ : đầu đo bán dẫn Kulite được chế tạo với hai model khác nhau :

Loại H có $K = 175$

Loại K có $K = 45$



Hình 7.6. Sự phụ thuộc của K vào độ pha tạp.

7.5. ĐẦU ĐO TRONG CHẾ ĐỘ ĐỘNG

7.5.1. Tần số sử dụng tối đa

Tần số làm việc của đầu đo không phụ thuộc vào vật liệu chế tạo, tuy vậy tần số làm việc phụ thuộc vào phương pháp gắn đầu đo và kích thước của nó. Chiều dài của các nhánh phải nhỏ hơn nhiều so với chiều dài bước sóng λ của dao động cơ học để các biến dạng đo được gần như đồng dạng trong phạm vi đầu đo.

Quan hệ giữa kích thước l của đầu đo và chiều dài bước sóng phải thỏa mãn điều kiện

$$l \leq 0,1 \lambda \quad (7.19)$$

Chiều dài bước sóng λ của dao động dọc bằng :

$$\lambda = \frac{V}{f} \quad (7.20)$$

trong đó V là vận tốc âm trong vật liệu và f là tần số dao động. Biểu thức của V có dạng :

$$V = \sqrt{\frac{Y}{d} \frac{1 - \nu}{(1 + \nu)(1 - 2\nu)}} \quad (7.21)$$

Y là môđun đàn hồi Young, ν là hệ số Poisson và d là trọng lượng riêng của vật liệu. Vận tốc truyền sóng trong thép là : $V = 5810 \text{ m/s}$.

Theo điều kiện (7.19) tần số sử dụng cực đại của đầu đo có chiều dài l là :

$$f_{\max} = \frac{V}{10l} \quad (7.22)$$

Đối với thép $f_{\max} = 60 \text{ kHz}$ khi $l = 1 \text{ cm}$.

7.5.2. Giới hạn môi

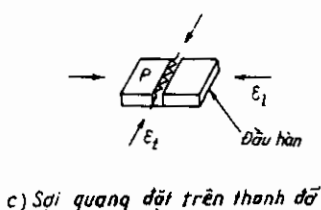
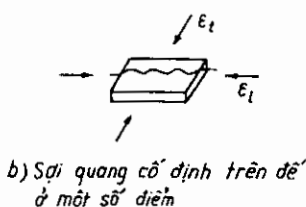
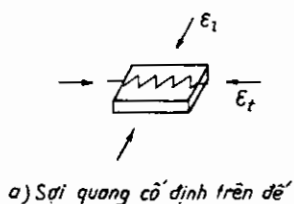
Biến dạng lặp lại nhiều lần sẽ dẫn đến làm tăng điện trở đầu đo. Đó là hiệu ứng môi, hiệu ứng này càng mạnh khi biên độ biến dạng càng lớn.

Giới hạn môi được xác định bằng chu kỳ biến dạng N với biên độ cho trước gây nên biến thiên điện trở tương đương với biến dạng giả định bằng 10^{-4} .

Với biên độ biến dạng $\pm 2 \cdot 10^{-3}$ giới hạn môi phụ thuộc dạng đầu đo và nằm trong khoảng từ 10^4 (constantan) đến 10^8 (Isoelastic) chu kỳ.

Ngược lại nếu sợi quang chỉ gắn với đế ở một số điểm thẳng hàng (hình 7.8b) nó chỉ đáp ứng với một kiểu biến dạng này hoặc biến dạng khác vì sự thay đổi chu kỳ của vòng. Cần phải bù ảnh hưởng nhiệt độ trong mọi trường hợp. Trên hình 7.8c sợi quang chỉ chịu ứng suất dọc. Việc bù nhiệt được đảm bảo bằng việc lựa chọn đúng vật liệu sợi và đế.

Hệ số đo K rất cao, ít nhất bằng 250 đối với sợi đa mode chiết suất nhảy bậc (đường kính lõi 60 μm , đường kính vỏ 25 μm , độ mở số 0,20), độ nhạy hạn chế ứng với biến dạng tương đối 0,01 $\mu\text{m}/\text{m}$.



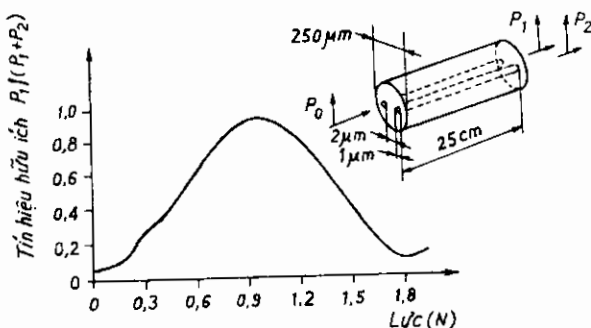
Hình 7.8. Bố trí cảm biến biến dạng sợi quang.

7.7. CẢM BIẾN GHÉP CÁC SỢI QUANG

Sử dụng hai sợi quang đơn mode, cùng chiết suất ($n_1 = 1,62$), đường kính nhỏ (1 μm) cùng đặt trong một vỏ quang đường kính ngoài 250 μm , $n_2 = 1,52$, đặt cạnh nhau với khoảng cách 2 μm (hình 7.9).

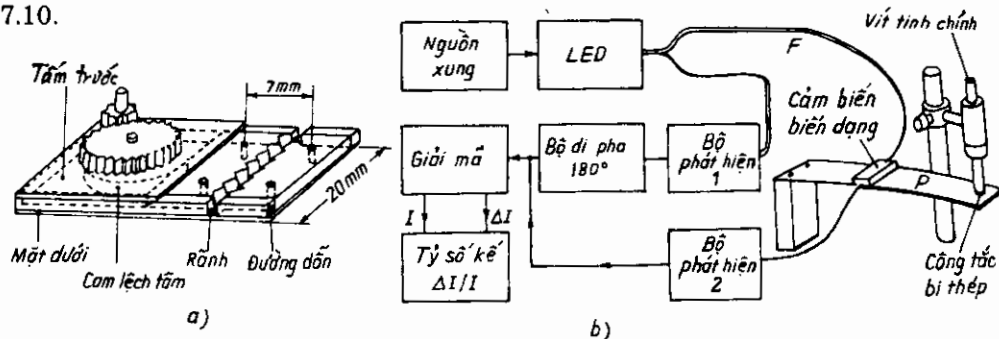
Ta nhận thấy rằng có sự liên hệ về quang giữa hai sợi. Một phần ánh sáng phát trong một sợi được thấy trong sợi kia. Cách ghép này nhạy với biến dạng dài và hướng kính và cũng chịu ảnh hưởng của nhiệt độ.

Việc đo biến dạng tương ứng với việc xác định các pha P_1 và P_2 (phách) của các tín hiệu quang khi bơm ánh sáng pha P_0 vào một trong hai sợi quang.



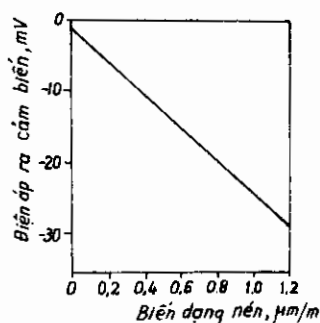
Hình 7.9. Đo biến dạng bằng ghép sợi quang đơn mode.

Cảm biến biến dạng được nối với nguồn và thiết bị đo như hình 7.10.



Hình 7.10. Nối cảm biến với nguồn và thiết bị đo.
a) Cảm biến biến dạng ; b) Sơ đồ thí nghiệm.

Sợi quang F đa mode, chiết suất nhảy bậc đường kính là $85 \mu\text{m}$ đường kính vỏ $120 \mu\text{m}$, độ mở số 0,18. Dầm P bằng thép hệ số giãn dài $1,7 \cdot 10^{-5} \text{ K}^{-1}$. Hệ số đầu đo $K = \frac{1}{\varepsilon} \frac{\Delta I}{I} = 250$, ε là biến dạng tương đối, $\frac{\Delta I}{I}$ biến thiên tương đối cường độ sáng do biến dạng. Hệ số đầu đo này lớn hơn đầu đo bán dẫn (thường cỡ 100) (hình 7.11).



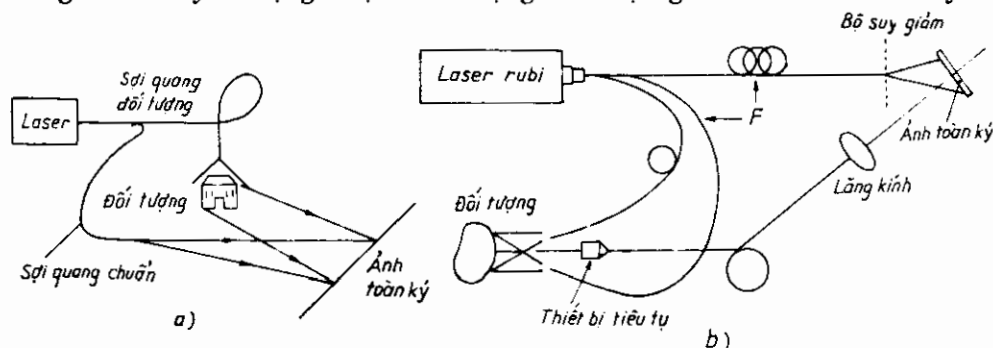
Hình 7.11. Đáp ứng của cảm biến biến dạng.

7.8. HOLOGRAM (ẢNH TOÀN KÝ) GIAO THOA

Nguyên lý. Ảnh toàn ký là phép ghi trên cùng một bản nhạy ánh sáng hai ảnh khác nhau của cùng một vật đang chịu biến dạng. Sự lệch giữa hai ảnh này tạo nên giao thoa, các vân giao thoa đặc trưng cho biến dạng này. Ảnh toàn ký giao thoa được sử dụng trong phép đo biến dạng chính xác như chong chóng máy bay trực thăng, buồng đẩy tên lửa.

Ảnh toàn ký giao thoa sợi quang (hình 7.12) là sự mở rộng của giao thoa kế sợi quang. Ảnh toàn ký của đối tượng đối với chùm tia cát qua. So với sơ đồ kinh điển có điều khác biệt là bộ phân chia được thay bằng một bộ phối ghép quang C. Các linh kiện quang khác như gương, bộ lọc được thay bằng các sợi quang đơn mode. Một trong các tia dùng định chuẩn, tia kia dùng để chiếu sáng vật.

Ánh sáng khuếch tán F_2 giao thoa với tia chuẩn F_1 trên tấm ảnh toàn ký. Sơ đồ này đơn giản hơn sơ đồ kinh điển, loại bỏ được các bộ phận nặng nề. Nếu ta xếp chồng hai ảnh của cùng một đối tượng sẽ xuất hiện một ảnh toàn ký ba chiều, nhưng trong khi đang thực hiện ảnh toàn ký thứ hai mà vật cũng bị rung hoặc biến dạng sẽ xuất hiện các vân giao thoa hình ảnh ba chiều. Đây chính là nguyên lý của ảnh toàn ký. Vị trí không gian của các vân cũng như bố trí các vân đặc trưng cho chuyển động hoặc biến dạng của vật giữa hai ảnh toàn ký.



Hình 7.12. Ảnh toàn ký bằng sợi quang
a) Nguyên lý ; b) Ảnh toàn ký từ xa
F tia liên kết của các sợi quang đa mode
Đường kính sợi quang 3 mm, dài 1 m.

Khi đối tượng cần lấy ảnh toàn ký trong vùng khó tiếp cận (thậm chí dưới nước) ta luôn có thể truyền hình ảnh của nó nhờ tia liên kết (đường kính 4 mm) từ các sợi quang đa mode chiết suất nhảy bậc (lõi 12 μm) có bán kính lớn. Trong tia liên kết các vị trí tương đối của các sợi giống nhau ở đầu vào và ở đầu ra của chùm tia sợi quang sẽ truyền hình ảnh. Ảnh toàn ký từ xa bao gồm việc định vị tại chỗ đầu vào của chùm tia liên kết. Trong bộ phận không gian có giao thoa giữa sóng chuẩn và sóng của đối tượng rồi truyền lưới giao thoa bằng tia liên kết và chỉ ghi ảnh trên phim sau khi truyền ánh sáng.

7.9. KIỂM TRA TRẠNG THÁI BỀ MẶT

Khi chiếu sáng một bề mặt bằng tia laser người quan sát thấy nhiều hạt gồ ghề trên bề mặt. Hiện tượng này là do các hạt tạo ra giao thoa giữa các tia tới và tia phản xạ bởi bề mặt này. Ghi hình ảnh của đối tượng đang chịu ứng suất hoặc dao động nhỏ ta nhận được các vân giao thoa đặc trưng cho vật. Hình ảnh này có thể được truyền bằng sợi quang do kích thước của nó lớn hơn kích thước của mỗi sợi.

Ảnh toàn ký giao thoa thời gian thực bao gồm việc chuẩn bị một ảnh toàn ký chuẩn của đối tượng ở trạng thái ban đầu và xếp chồng với diện sóng liên kết do vật trong quá trình chuyển động hoặc đang chịu biến dạng. Người quan sát nhận được các vân giao thoa trong thời gian thực đặc trưng cho chuyển động hoặc biến dạng.

Ảnh toàn ký giao thoa hai thời điểm ghi ảnh của cùng một đối tượng tại hai thời điểm khác nhau. Các vân giao thoa chỉ đặc trưng cho sự khác nhau về vị trí hoặc hình dáng của hai đối tượng ở hai thời điểm này.

Ảnh toàn ký giao thoa thời gian trung bình ghi ảnh trong một khoảng thời gian tương đối dài tương ứng với nhiều chu kỳ dao động (ví dụ 1000).

Ảnh toàn ký sử dụng kỹ thuật điện ảnh sử dụng một hệ thống laser hai xung với nhịp 25 Hz. Có thể ghi trên phim ảnh 35 mm bằng một camera đặc biệt hoặc phim nhựa nhiệt không cần rửa ảnh. Kỹ thuật này bao gồm sấy nóng mặt phim rồi chụp. Các vân sẽ hiện lên khi làm lạnh. Kỹ thuật này tương đối phức tạp.

Phương pháp thứ ba loại trừ được phim ảnh là sử dụng camera CCD. Độ phân giải tương đối thấp ($10\text{ }\mu\text{m}$) chỉ cho phép nhận biết các vân lớn. Đây là kỹ thuật thời gian thực. Camera CCD đo cường độ sáng và đòi hỏi xử lý ảnh bởi vì kỹ thuật giao thoa đo biến dạng như đối với ảnh toàn ký có độ phân giải thấp hơn ($0,1\text{ }\mu\text{m}$).

Kỹ thuật có thể tổng quát hóa, chỉ cần một camera CCD ma trận 500×500 điểm để xác định toàn bộ mặt rộng đồng thời và hầu như tức thời, độ lớn và pha của mỗi kiểu chấn động của các chi tiết phức tạp.

Chương 8

CẢM BIẾN LỰC VÀ ỨNG SUẤT

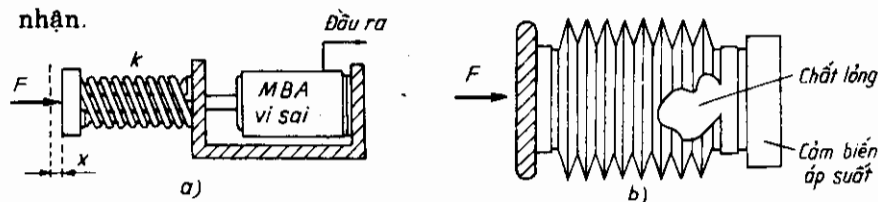
8.1. ĐẠI CƯƠNG VỀ CẢM BIẾN ĐO LỰC VÀ ỨNG SUẤT

Lực là một đại lượng vật lý quan trọng. Theo định luật cơ bản của động lực học $F = ma$, trong đó m là khối lượng (kg) của vật chịu tác dụng của lực F tính bằng Newton gây nên gia tốc a (ms^{-2}). Phép đo lực là yêu cầu quan trọng trong kỹ thuật cơ khí, xây dựng... Nói chung phép đo lực là yêu cầu đối với cơ học vật rắn, còn đối với cơ học chất lỏng và chất khí người ta chú ý tới áp suất. Lực được chú ý khi tác động lên một điểm còn áp suất được đo khi lực phân bố trên diện rộng. Các bộ cảm biến lực có thể phân thành hai lớp : các bộ cảm biến định lượng và định tính. Các bộ cảm biến định lượng dùng để đo lực có giá trị được thể hiện bằng tín hiệu điện. Các bộ cảm biến định tính là các thiết bị có ngưỡng, tín hiệu ra của nó chỉ độ lớn của lực đã vượt quá một ngưỡng định trước. Các phương pháp cảm biến lực có thể thực hiện bằng cách :

- Cân bằng một lực chưa biết với một lực đối kháng sao cho lực tổng cộng và momen tổng của chúng bằng không.
- Đo gia tốc của vật có khối lượng đã biết để xác định lực.
- Cân bằng lực chưa biết với một lực điện từ.
- Biến đổi lực thành áp suất chất lỏng và đo áp suất này.
- Đo ứng suất tạo nên khi vật bị biến dạng đàn hồi và suy ra lực.

Trong đa số bộ cảm biến lực không được biến đổi trực tiếp thành tín hiệu điện mà được tiến hành qua một vật trung gian chịu lực cần đo và bị biến dạng. Ví dụ bộ cảm biến lực được chế tạo bằng cách phối hợp bộ cảm biến vị trí và bộ biến đổi lực thành di chuyển. Ví dụ trên hình 8.1 a lực tác động lên lò xo phối hợp với điện cảm vi sai, di chuyển

của lò xo chuyển thành điện áp trên cuộn dây vi sai. Trên hình 8.1b lực tạo nên ứng suất trong chất lỏng và làm màng của cảm biến áp suất cảm nhận.



Hình 8.1. a) Bộ cảm biến lực sử dụng cuộn dây vi sai ;
b) Bộ cảm biến lực sử dụng cảm biến áp suất.

8.2. CẢM BIẾN ÁP ĐIỆN

Hiệu ứng áp điện do Pierre Curie phát hiện năm 1880 là hiện tượng xuất hiện phân cực điện hoặc thay đổi phân cực điện đã có trong một số chất điện môi như thạch anh, tuamalin, sunfat liti... khi chúng bị biến dạng dưới tác dụng của lực.

Cảm biến áp điện gồm một phiến áp điện mỏng phủ lên hai mặt của một tụ điện và tác dụng một lực lên hai bản cực thì trên hai bản cực đó xuất hiện các điện tích trái dấu. Điện áp giữa hai bản cực tỷ lệ với lực tác động.

Hiệu ứng áp điện có tính chất thuận nghịch. Dưới tác động của điện trường có chiều thích hợp vật liệu áp điện sẽ bị biến dạng. Đặc biệt vật liệu áp điện có thể bị kích thích đến trạng thái cộng hưởng cơ học.

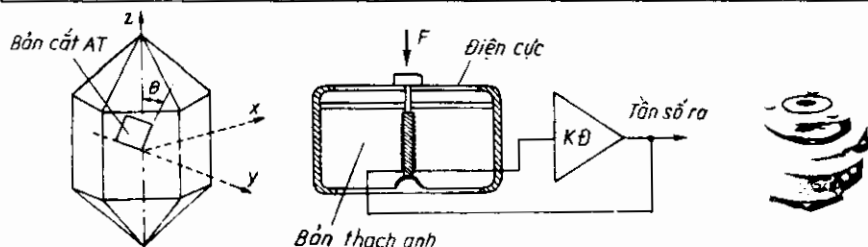
Trong số các vật liệu áp điện, thạch anh được đặc biệt chú ý vì có độ ổn định và độ cứng cao. Ngoài ra người ta còn sử dụng các vật liệu gốm áp điện, vì dễ chế tạo và giá thành hạ. Gốm PZT được chế tạo bằng cách thiêu kết oxit chì, zircon và titan có công thức chung là $PbTi_xZr_xO_3$, giá trị x thường xấp xỉ 0,5 quyết định đặc tính của vật liệu. PZT có độ nhạy cao, có điện dung cao nên ít chịu ảnh hưởng của điện dung ký sinh, có độ bền cơ học cao, dễ gia công. Bảng 8.1 trình bày các đặc tính vật lý của một số vật liệu áp điện.

Bảng 8.1

Đặc tính vật lý của một số vật liệu áp điện

Vật liệu	Độ thấm thấu	Điện trở suất ($\Omega.m$)	Modun đàn hồi $10^9 N.m^{-2}$	Ứng suất cực đại $10^7 N.m^{-2}$	Nhiệt độ sử dụng ($^{\circ}C$)
Thạch anh	$\epsilon_{11} = 4,5$	10^{12}	$Y_{11} = 80$	10	550

Vật liệu	Độ thấm thấu	Điện trở suất ($\Omega \cdot m$)	Modun đàn hồi $10^9 N \cdot m^{-2}$	Ứng suất cực đại $10^7 N \cdot m^{-2}$	Nhiệt độ sử dụng ($^{\circ}C$)
Muối seignette	$\epsilon_{11} = 350$	$> 10^{10}$	$Y_{11} = 19,3$ $Y_{22} = 30$ $Y_{33} = 30$	1,4	45
LH	$\epsilon_{11} = 5,6$ $\epsilon_{11} = 10,3$ $\epsilon_{11} = 6,5$	$> 10^{10}$	46	15	75
PZT 5A	$\epsilon_{11} = 1700$	10^{11}	$Y_{33} = 53$	7 ÷ 8	365



Hình 8.2. Bộ cảm biến lực thạch anh.

Hình 8.2a trình bày cấu tạo của bộ cảm biến lực thạch anh. Phiến thạch anh hình chữ nhật được cắt với một cạnh song song với trục X, còn bề mặt thạch anh được cắt với góc $\theta \approx 35^{\circ}$ so với trục z. Sơ đồ nối bộ cảm biến lực thạch anh được cho trên hình 8.2b.

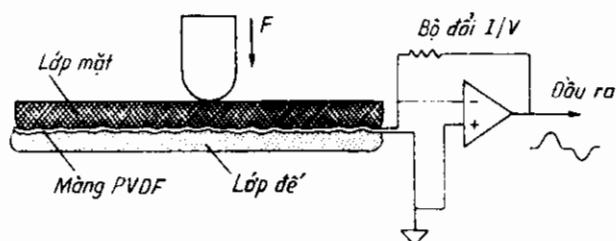
Phiến thạch anh được nối với bộ khuếch đại cơ phản hồi dương. Tinh thể thạch anh dao động với tần số cơ bản f_0 và độ lệch tần số Δf khi có tải bằng :

$$\Delta f = F \frac{K f_0^2 n}{D} \quad (8.1)$$

ở đây F là lực tác động lên phiến, K là hằng số, n là số mode, D là kích thước của tinh thể. Để bù ảnh hưởng nhiệt lên sự biến thiên tần số có thể sử dụng tinh thể kép trong đó một nửa để bù nhiệt độ. Mỗi bộ cộng hưởng được nối với mạch dao động của nó và tần số tổng được trừ cho nhau.

Hình 8.3a trình bày bộ cảm biến trong đó biến đổi trực tiếp ứng suất cơ thành tín hiệu điện, tuy nhiên bộ cảm biến này chỉ nhạy với sự

thay đổi của kích thích và không nhạy với lực là hằng số. Bộ cảm biến gồm ba lớp màng polyvinylidene flourid (PVDF) được dát mỏng giữa là chất nền (cao su silicon) và lớp ép. Lớp ép bằng màng chất dẻo. Khi tác dụng lực lên bộ cảm biến màng PVDF chịu ứng suất và hình thành các điện tích trên bề mặt. Điện tích thay đổi tạo nên biến thiên điện áp ra. Biên độ của điện áp ra tỷ lệ với lực tác động vào bộ cảm biến. Bộ cảm biến này có thể dùng trong y tế để hiển thị trực tiếp nhịp thở.



Hình 8.3a. Bộ cảm biến lực áp điện.

Hình 8.3b trình bày sơ đồ mạch đo của cảm biến áp điện.

Khi có tác động lực dạng hình sin $F = F_{\max} \sin \omega t$ thì điện áp ra :

$$U_{ra} = I \frac{R \cdot 1/j\omega C}{R + 1/j\omega C} = j\omega d_1 F \frac{R}{1 + j\omega CR}$$

và độ nhạy phức của chuyển đổi :

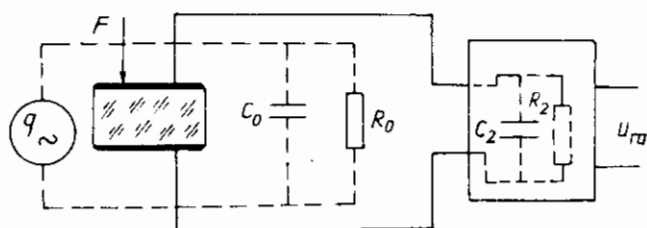
$$S(j\omega) = \frac{d_1 R}{1 + j\omega CR} = \frac{d_1}{C} \frac{j\omega \tau}{1 + j\omega \tau}$$

$$\tau = RC = \frac{R_0 R_2}{R_0 + R_2} (C_0 + C_2),$$

trong đó : τ là hằng số thời gian của mạch và cảm biến R_0 , R_2 , C_0 và C_2 - điện trở và điện dung thực của cảm biến và mạch khuếch đại.

Từ biểu thức trên cho thấy rằng cảm biến áp điện là một khâu vi phân. Sai số tần số của nó sẽ không đáng kể khi tần số của tín hiệu tương đối cao tức là

$\omega \tau \gg 1$ (đường cong 1 hình 8.3c)



Hình 8.3b. Mạch đo của cảm biến áp điện.

Để giảm sai số tần số ở dải tần thấp cần tăng hằng số thời gian của mạch do vì tổng trở vào của mạch khuếch đại rất lớn. Nhưng tăng hằng số thời gian bằng cách tăng điện dung C sẽ dẫn đến giảm tín hiệu ra.

Trong thực tế lực tác động lên cảm biến không phải chỉ là lực F_x mà là lực F , (trong đó kể cả lực làm biến dạng cơ học và lực điện).

Với lực F tác động, phương trình được biểu diễn dưới dạng :

$$m \frac{d^2 \Delta x}{dt^2} + P \frac{d \Delta x}{dt} + C_0 \Delta x = F .$$

Đưa về dạng toán tử ta có :

$$(p^2 m + pP + C_0) \Delta x = F ,$$

trong đó m , P , C_0 - khối lượng, hệ số cản dộ và hệ số phản kháng của phần tử áp điện.

$$\text{Mật khác lực } F_x = sE \frac{\Delta x}{x} ,$$

s , E , x - diện tích, môđun đàn hồi và chiều dày của phần tử áp điện.

Quan hệ giữa F_x và F có dạng :

$$F_x = \frac{s \cdot E}{x} \frac{F}{p^2 m + pP + C_0}$$

Độ nhảy của cảm biến tính với biến dạng cơ học :

$$S_c(j\omega) = \frac{s \cdot E}{mx} \cdot \frac{1}{\omega_0^2 - \omega^2 + j2\beta\omega\omega_0}$$

tần số dao động riêng cơ học

$$\omega_0 = \sqrt{\frac{C_0}{m}}$$

mức độ cản dộ

$$\beta = \frac{P}{2\sqrt{mC_0}}$$

Độ nhảy của cảm biến tính với cả lực điện và lực cơ :

$$S_{cd}(j\omega) = \frac{d_1}{C} \cdot \frac{SE}{x} \frac{1}{\omega_0^2 - \omega^2 + j2\beta\omega\omega_0} \cdot \frac{j\omega\tau}{1 + j\omega\tau}$$

Đặc tính độ nhảy của cảm biến được biểu diễn trên hình (8.3c) trong đó đường cong 1 là đặc tính điện, 2 là đặc tính cơ và 3 là đặc tính cơ điện.

Từ biểu thức trên ta thấy rằng đặc tính biên - tần thực của chuyển đổi áp điện do tính chất quán tính cơ nên khác nhiều so với đặc tính của khâu vi phân.

Độ nhạy của chuyển đổi sẽ không phụ thuộc vào tần số quá trình đo với điều kiện :

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

Lúc đó độ nhạy cơ điện của nó sẽ là :

$$S_{cd} = [S_{cd}(j\omega)] = \frac{d_1}{C} \frac{sE}{mx} \cdot \frac{1}{\omega_0^2} .$$

Khi sử dụng cảm biến áp điện cần tính đến hiệu ứng dây cáp vì trong điều kiện bị rung bản thân dây cáp cũng sinh ra điện tích do đó làm sai lệch kết quả đo.

Trong thực tế với độ rung ở tần số $60 \div 80$ Hz điện tích do dây cáp rung sinh ra có thể lớn hơn điện tích của bản thân phần tử áp điện vì vậy phải sử dụng loại cáp đặc biệt chống rung (ví dụ loại ABK).

Lĩnh vực ứng dụng

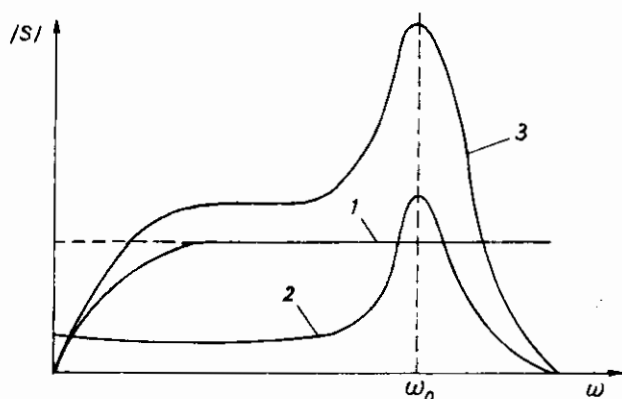
Cảm biến áp điện được dùng để đo lực biến thiên (đến 10.000 N), đo áp suất $1000\text{ ms}^{-2}/(100\text{ N/mm}^2)$ và gia tốc (tới $1000g$) trong dải tần từ $0,5$ đến 100 kHz .

Ưu điểm của cảm biến loại này là cấu trúc đơn giản, kích thước nhỏ, độ tin cậy cao, có khả năng đo các đại lượng biến thiên nhanh.

Nhược điểm của nó là không đo được lực tĩnh, khó khắc độ.

Phần tử áp điện và mạch đo cần phải chống ẩm tốt. Phần tử có trễ và đặc tính phi tuyến (đo môđun áp điện d_1 phụ thuộc vào lực và áp suất).

Ngoài việc sử dụng các hiệu ứng áp điện thuận của chuyển đổi áp điện người ta còn dùng hiệu ứng áp điện ngược để chế tạo các chuyển



Hình 8.3c. Độ nhạy của cảm biến áp điện

đổi ngược do di chuyển và các thiết bị để kích thích dao động siêu âm ở tần số dao động cơ (ví dụ dao động ký cơ học).

Nếu đặt phần tử áp điện trong điện trường có cường độ F_x dọc trục X , nó sẽ bị biến dạng tương đối theo hướng trục này một lượng $\frac{\Delta x}{x} = d_1 E_x$; còn theo hướng trục y là :

$$\frac{\Delta y}{y} = -d_1 E_x$$

Biết rằng $E_x = U_{x/x}$; U_x - điện áp đặt lên phần tử áp điện.

Ta có : $\Delta x = d_1 U_x$; $\Delta y = -(y/x)d_1 U_x$.

Nhược điểm của loại cảm biến này là độ biến dạng của phần tử áp điện rất nhỏ (vài phần *micrômét*).

8.3. BỘ CẢM BIẾN TỪ GIÁO

Do tác động của từ trường một số vật liệu sắt từ thay đổi tính chất hình học hoặc tính chất cơ học. Đây là hiệu ứng từ giáo, được ứng dụng để chế tạo các bộ chuyển đổi siêu âm hoặc các phần tử sắt từ hoạt động ở chế độ cộng hưởng cơ học. Mọi ứng lực trong vật liệu cần đo lực sẽ làm thay đổi đường cong từ hóa và có thể đánh giá lực tác động bằng sự biến thiên của độ từ thẩm hoặc từ dư.

Khi có lực bên ngoài, kích thước mạng tinh thể sẽ thay đổi, các hướng dễ từ hóa thay đổi, làm thay đổi sự định hướng của các miền từ hóa tự nhiên và các vách của chúng. Hiện tượng này gọi là hiệu ứng từ giáo nghịch. Từ dư B_r và độ từ thẩm μ phụ thuộc vào đặc tính của vật liệu và chiều của ứng lực σ tác động. Hình 8.4 biểu diễn sự biến dạng của đường cong từ hóa dưới tác dụng của lực kéo đối với permalloy 68 (Ni 68%, Fe 32%).

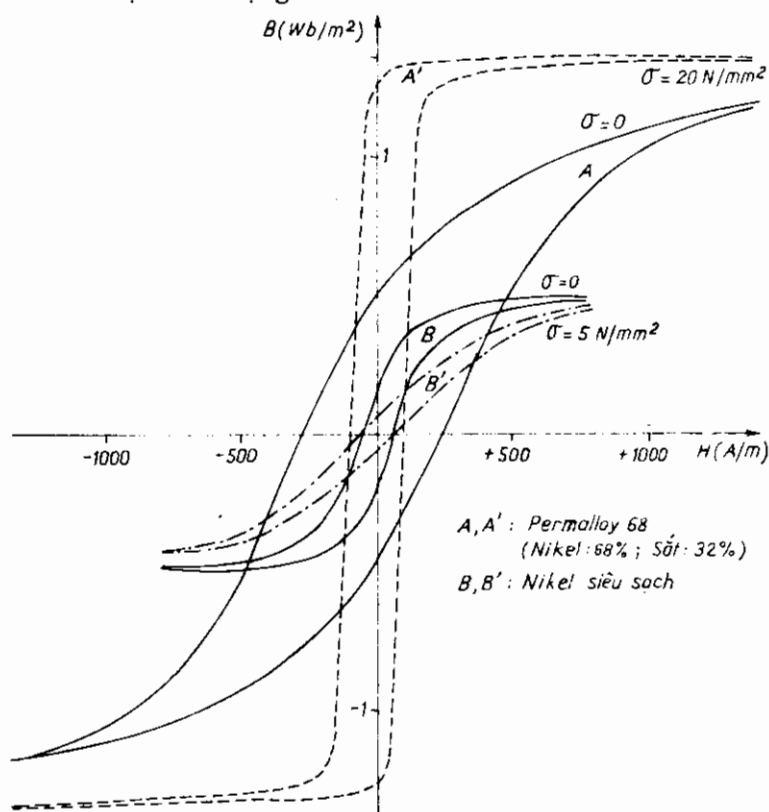
Sự thay đổi của độ từ thẩm μ dưới ảnh hưởng của lực làm thay đổi điện cảm L của cuộn dây. Xét cuộn dây có mạch từ kín được biểu diễn trên hình 8.5. Bộ cảm biến gồm một cuộn dây có lõi bị biến dạng dưới tác dụng của lực cần đo theo công thức

$$\frac{\Delta \mu}{\mu} = - \frac{\Delta R}{R} = \frac{\Delta L}{L} = K \sigma \quad (8.2)$$

ở đây σ là ứng lực cần đo.

Người ta còn sử dụng sự biến thiên của từ dư để chế tạo bộ cảm biến lực. Dưới tác dụng của lực, ví dụ lực nén thì từ dư B_r tăng lên,

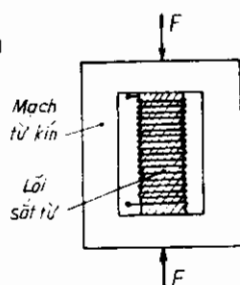
do đó làm xuất hiện sức điện động cảm ứng tỷ lệ với dB_r/dt . Biểu thức điện áp ra hở mạch có dạng :



Hình 8.4. Sự biến dạng của đường cong từ hóa dưới tác dụng của lực kéo

$$V_m = K \frac{dB_r}{dt} = K \frac{dB_r}{d\sigma} \cdot \frac{d\sigma}{dt} \quad (8.3)$$

ở đây K là hệ số tỷ lệ với số vòng và tiết diện vòng dây. Đây là loại cảm biến tích cực.



Hình 8.5. Cảm biến từ giao

8.4. BỘ CẢM BIẾN LỰC DỰA TRÊN VIỆC ĐO DI CHUYỂN

Trong loại cảm biến này, lực được đặt lên vật trung gian gây nên sự thay đổi kích thước Δl . Sự thay đổi kích thước được đo bằng cảm biến di chuyển. Tỷ số giữa tín hiệu ra V_m và lực tác dụng F được cho bằng biểu thức :

$$\frac{V_m}{F} = \frac{V_m}{\Delta l} \cdot \frac{\Delta l}{F}$$

ở đây $\frac{V_m}{\Delta l}$ là hệ số truyền đạt của bộ cảm biến

$\frac{\Delta l}{F}$ là độ mềm của vật trung gian.

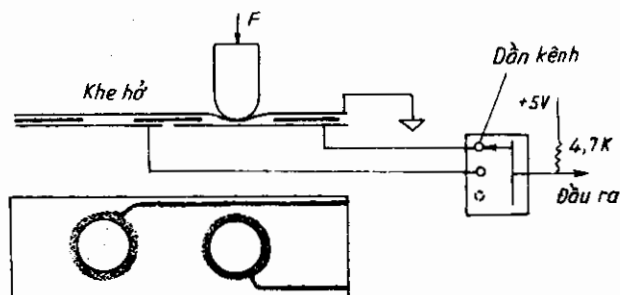
Vật trung gian thường là lò xo, dùng để đo các lực tương đối nhỏ. Tùy điều kiện sử dụng có thể dùng nhiều loại cảm biến di chuyển khác nhau để đo lực như :

- Điện thế kế điện trở
- Cảm biến từ trở biến thiên
- Cảm biến tụ điện.

8.5. BỘ CẢM BIẾN XÚC GIÁC

Bộ cảm biến xúc giác thuộc loại chuyển đổi lực và áp suất đặc biệt có chiều dày rất mỏng, do vậy có thể sử dụng trong những nơi có lực và áp suất tạo nên giữa hai mặt lân cận nhau. Ví dụ trong người máy cảm biến xúc giác có thể nằm trong tay máy tiếp xúc với đối tượng giống như da con người. Cảm biến này cũng được sử dụng trong bàn phím, "màn tiếp xúc" nơi cảm nhận được sự tiếp xúc về vật lý. Cảm biến này cũng được sử dụng rộng rãi trong lĩnh vực y sinh, sử dụng trong nha khoa nghiên cứu thân răng, nghiên cứu các lực sinh ra trong bàn chân con người khi di chuyển.

Có thể sử dụng một số phương pháp chế tạo bộ cảm biến xúc giác. Đơn giản nhất là hình thành hai lá mỏng dẫn điện ra miếng đệm (hình 8.6). Miếng đệm có lỗ hình dáng thích hợp.



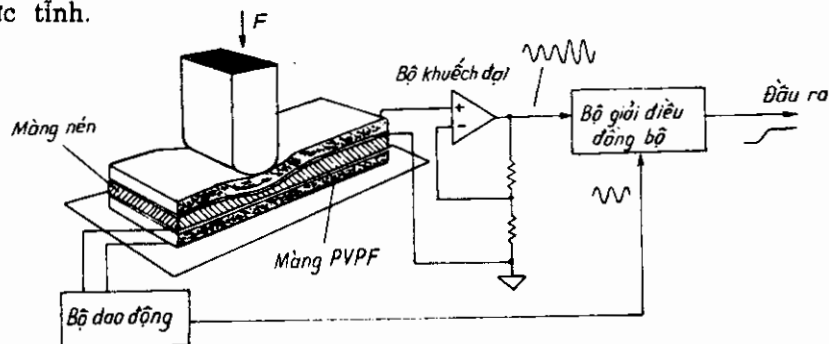
Hình 8.6. Màng chuyển mạch như bộ cảm biến xúc giác.

Một lá được nối đất còn lá kia được nối với điện trở. Nếu cần nhiều vùng nhạy cảm thì cần bộ dẫn kênh. Khi ngoại lực đặt vào lá dẫn trên,

lá dẫn bị uốn và chạm vào lá dẫn dưới tạo nên tiếp xúc điện. Tín hiệu ra bằng không chứng tỏ có lực đặt vào.

Lá dẫn phía trên và phía dưới có thể được chế tạo bằng phương pháp mạch in.

Bộ cảm biến xúc giác có thể được chế tạo bằng màng mỏng áp điện như PVDF sử dụng chế độ tích cực hoặc thụ động. Hình 8.7 trình bày bộ cảm biến xúc giác tích cực áp điện có ba lớp ghép với nhau. Lớp trên và dưới là PVDF trong khi lớp giữa ghép nối âm thanh với hai lớp kia. Sự mềm mại của lớp giữa quyết định độ nhạy và dải làm việc của bộ cảm biến. Tín hiệu kích thích tạo nên ứng suất cơ trong màng ghép với lớp nén làm cho màng áp điện tác động như bộ thu. Vì hiệu ứng áp điện có tính chất thuận nghịch màng phía trên sinh ra điện áp xoay chiều tỷ lệ với dao động cơ học của màng nén. Các dao động được khuếch đại và dẫn đến bộ giải điều đồng bộ, nhạy với cả biên và pha của tín hiệu thu được. Sự thay đổi được nhận biết bằng bộ giải điều và xuất hiện ở đầu ra như điện áp thay đổi. Tín hiệu ra phụ thuộc tuyến tính vào lực. Nếu các màng PVDF 25 μm được dát với màng nén bằng cao su silicon, các điện cực màng PVDF có thể được chế tạo như tế bào ở phía phát hoặc thu. Bộ cảm biến này có thể được sử dụng để đo di chuyển nhỏ, độ chính xác tốt hơn $\pm 2 \mu\text{m}$ trong dải vào *milimet*. Ưu điểm của bộ cảm biến là đơn giản, đáp ứng cả lực một chiều do vậy có thể nhận biết các lực tĩnh.

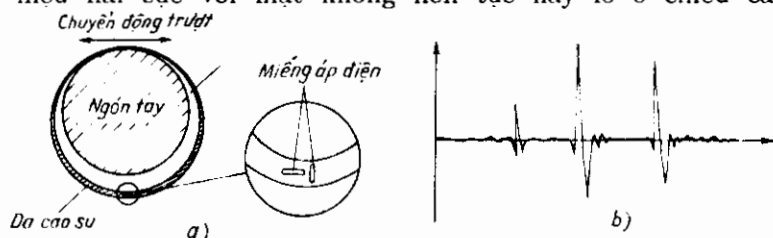


Hình 8.7. Bộ cảm biến xúc giác áp điện tích cực.

Bộ cảm biến xúc giác áp điện có thể được chế tạo bằng màng PVDF trong lớp màng cao su (hình 8.8a). Đây là bộ cảm biến thụ động, tín hiệu ra do màng áp điện phát mà không cần nguồn kích thích bên ngoài. Kết quả tạo nên đáp ứng tỷ lệ với tốc độ của ứng lực hơn là độ lớn của nó. Việc thiết kế cảm biến này dùng trong robot nơi cần cảm nhận các chuyển động trượt do các dao động nhanh. Cảm biến áp điện cảm nhận trực tiếp khi giao tiếp với màng cao su, do đó tín hiệu điện phản ánh chuyển động của cao su đàn hồi do lực ma sát.

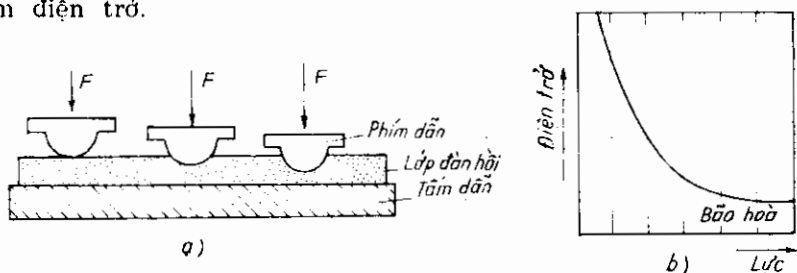
Bộ cảm biến sẵn có một cấu trúc cứng (ngón tay rôbôt) lỗ dày 1 mm, xung quanh là màng cao su silicone. Cũng có thể sử dụng chất lỏng để theo dõi mặt nhẵn tốt hơn.

Vì lớp cảm nhận đặt khá sâu trên bề mặt da và màng áp điện đáp ứng một cách trực tiếp theo các hướng khác nhau, độ lớn tín hiệu không giống nhau đối với chuyển động có hướng bất kỳ. Bộ cảm biến đáp ứng với tín hiệu hai cực với mặt không liên tục hay lỗ ở chiều cao 50 μm .



Hình 8.8. Bộ cảm biến xúc giác màng áp điện để phát hiện lực trượt.
a) Mặt cắt ; b) Đáp ứng điện hình.

Bộ cảm biến xúc giác điện trở được chế tạo bằng cách sử dụng vật liệu có điện trở là hàm của ứng suất. Các vật liệu này là chất đàn hồi dẫn điện hoặc các chất lỏng nhạy với áp suất. Chất đàn hồi dẫn điện được chế tạo từ cao su silicon, polyurethan và các hợp chất khác có tẩm các hạt hoặc sợi dẫn điện. Nguyên lý hoạt động của cảm biến xúc tác đàn hồi dựa trên việc thay đổi điện tích tiếp xúc khi nằm giữa hai tấm dẫn điện hoặc bằng cách thay đổi chiều dày (hình 8.9). Khi ngoại lực thay đổi, diện tích tiếp xúc giữa nút ấn và phần đàn hồi thay đổi làm giảm điện trở.

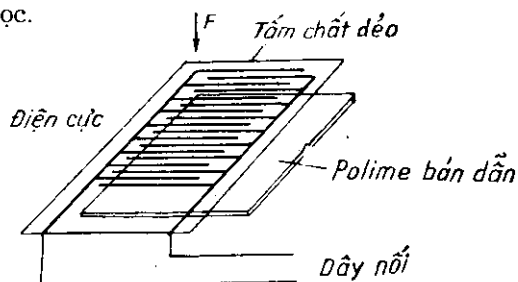


Hình 8.9. Cảm biến xúc giác nhạy với lực
a) Cấu trúc ; b) Hàm truyền

Ở một áp suất nào đó, diện tích tiếp xúc đạt tới cực đại và hàm truyền (hình 8.9b) đạt tới bão hòa. Bộ cảm biến này được ứng dụng trong rôbôt. Trong y tế nó có nhược điểm là hơi dầy, độ dày tới 1 mm. Bộ cảm biến mỏng hơn được chế tạo bằng polyme bán dẫn có điện trở thay đổi theo áp suất. Trên hình 8.10 là bộ cảm biến loại này, giống như chuyển mạch bằng màng. So với đầu đo ứng suất màng điện trở xúc giác

có dải động rộng hơn, thường khi điện trở biến thiên với lực từ 0 - 3 kg dải làm việc là 3 decade, nhưng độ chính xác thấp hơn (khoảng $\pm 10\%$). Tuy nhiên trong nhiều ứng dụng, khi không cần đo lực chính xác bộ cảm biến này trở nên hấp dẫn vì có giá thành hạ. Chiều dày điển hình của bộ cảm biến polyme là 0,25 mm.

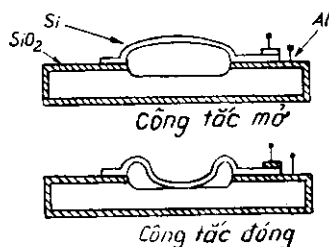
Các bộ cảm biến xúc giác loại nhỏ đặc biệt thích dụng đối với rôbôt, có độ phân giải không gian, độ nhạy cao, dải động rộng. Biến dạng dẻo trong silicon có thể được sử dụng để chế tạo bộ cảm biến xúc giác ngưỡng, có trễ cơ học.



Hình 8.10. Bộ cảm biến xúc giác polyme có điện trở thay đổi.

Điện trở giữa tiếp điểm khoảng 10 k Ω . Trong một số loại bộ cảm biến khác, thay cho khí có áp suất người ta sử dụng chân không trong khe nhỏ (hình 8.11)

Bộ cảm biến này có cấu hình lỗ chân không, catôt bức xạ nguội và

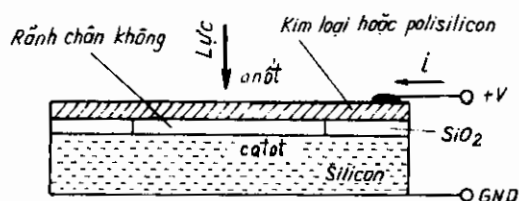


Hình 8.11. Công tắc ngưỡng có khí.

màng anốt thay đổi. Catốt là đầu silicon nhọn khi hiệu điện thế giữa đầu và anốt, tạo nên điện trường cho phép các điện tử từ catốt tới chân không nếu điện trường vượt quá 5.10^7 V/cm. Khi có ngoại lực anốt nghiêng xuống dưới, làm thay đổi điện trường và phát dòng điện. Quan hệ giữa dòng điện phát và điện áp anốt được cho theo biểu thức :

$$I = V^2 a \exp \left(- \frac{b}{\beta V} \right)$$

trong đó a và b là các hằng số, β là hệ số hình dáng, phụ thuộc vào khoảng cách giữa anốt và catốt. Để có độ nhạy cao, đầu được chế tạo với bán kính cong $0,02 \mu\text{m}$ (hình 8.12).



Hình 8.12. Sơ đồ bộ cảm biến lực diốt chân không.

8.6. BỘ CẢM BIẾN ỨNG SUẤT SIÊU ÂM ĐO BIẾN ĐỘNG TRONG VẬT LIỆU

Bộ cảm biến ứng suất vectơ động siêu âm (Ultrasonic Dynamic Vector Stress Sensor UDVSS) mới đây được sử dụng để đo sự thay đổi ứng suất động có hướng trong vật liệu hay trong cấu trúc, khi vật liệu hay cấu trúc chịu tải trọng chu kỳ. Chuyển đổi nhạy với lực căng được sử dụng để đo ứng suất. Có thể sử dụng kỹ thuật đàn hồi nhiệt và kỹ thuật cắt khá tốn kém. Đo ứng suất bằng quang học cần sử dụng lớp phủ lên đối tượng cần thử. Phương pháp khúc xạ laser đòi hỏi đánh dấu hay khắc lên mẫu.

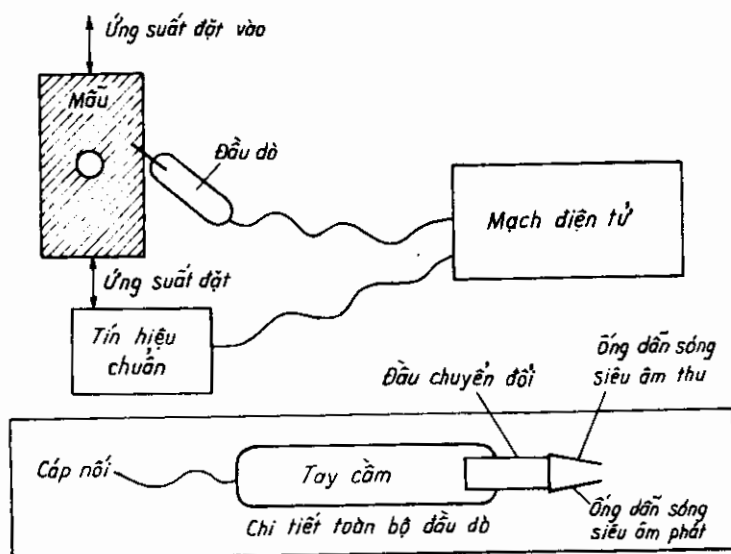
UDVSS là thiết bị xách tay có thể xác định trực tiếp ứng suất trên mẫu mà không cần sử dụng chuyển đổi gắn với mẫu. Trên hình 8.13 trình bày bộ cảm biến đo ứng suất chu kỳ đặt vào vật liệu. UDVSS bao gồm đầu dò tiếp xúc với mẫu thử, hệ thống điện tử nối với mẫu và nguồn tín hiệu chuẩn. Khối dò gồm có tay nắm, bộ chuyển đổi, máy phát siêu âm, máy thu, ống dẫn sóng máy phát và máy thu biến đổi tín hiệu

điện thành chuyển động cơ và ngược lại, cáp nối đầu dò với mạch điện tử. Khi chạm vào mẫu máy phát siêu âm gây nên sóng âm truyền qua mẫu tới máy thu sóng siêu âm, tiếp theo sóng này được chuyển đổi thành tín hiệu điện.

Hoạt động của UDVSS dựa trên hiện tượng vật lý là sự lan truyền âm trong mẫu sẽ thay đổi khi ứng suất trong mẫu thay đổi. Mạch vòng khóa pha xung tác động làm thay đổi sự lan truyền âm và ứng suất bằng cách thay đổi tần số hoạt động.

Thành phần tín hiệu này biểu thị sự thay đổi điện áp cần thiết để duy trì hệ thống, theo sự thay đổi ứng suất. Tín hiệu này mang thông tin về sự thay đổi ứng suất.

UDVSS có thể di chuyển chung quanh mẫu để vẽ trường ứng suất và khi quay đầu do ta có thể xác định chiều của ứng suất. Hơn nữa dễ dàng chỉnh định đầu dò. UDSS được ứng dụng rộng rãi trong việc chế tạo cấu trúc tàu vũ trụ, kết cấu ô tô để thử ứng suất và đánh giá các thiết kế.



Hình 8.13. Cảm biến ứng suất động siêu âm.

Chương 9

CẢM BIẾN ĐO LƯU LƯỢNG VÀ THỂ TÍCH CHẤT LỎNG, KHÍ VÀ HƠI

9.1. KHÁI NIỆM CHUNG VỀ CẢM BIẾN ĐO LƯU LƯỢNG

Một trong số các tham số quan trọng của quá trình công nghệ là lưu lượng các chất chảy qua ống dẫn. Muốn nâng cao chất lượng sản phẩm và hiệu quả của hệ thống điều khiển tự động các quá trình công nghệ cần phải đo chính xác thể tích và lưu lượng các chất.

Môi trường đo khác nhau được đặc trưng bằng tính chất hóa lý, và các yêu cầu công nghệ, do đó ta có nhiều phương pháp đo dựa trên những nguyên lý khác nhau. Số lượng vật chất được xác định bằng khối lượng và thể tích của nó tương ứng với các đơn vị đo (*kg, tấn*) hay đơn vị thể tích (*m³, lít*). Thiết bị đo số lượng vật chất trong khoảng thời gian một tuần lễ hay một tháng được gọi là công tơ.

Số lượng vật chất V trong một đơn vị thể tích chảy qua công tơ trong khoảng thời gian $\Delta\tau = \tau_2 - \tau_1$ được tính bằng công thức :

$$V = q_v (N_2 - N_1) \quad (9.1)$$

ở đây q_v : hằng số công tơ - xác định số lượng vật chất đi qua trên một đơn vị chỉ thị của công tơ.

Lưu lượng vật chất là số lượng chất ấy chảy qua tiết diện ngang của ống dẫn trong một đơn vị thời gian. Đơn vị đo : *m³/s ; m³/giờ v.v...*

Lưu lượng khối đo bằng *kg/s; kg/giờ; tấn/giờ v.v...*

Chúng ta cần phân biệt lưu lượng trung bình với lưu lượng tức thời. Ví dụ : Lưu lượng thể tích trung bình tính bằng

$$Q_{tb} = V (\tau_2 - \tau_1) \quad (9.2)$$

ở đây V là thể tích vật chất đo bằng công tơ trong thời gian $(\tau_2 - \tau_1)$

Lưu lượng tức thời được tính theo công thức :

$$Q = dV/d\tau \quad (9.3)$$

Lưu lượng khối tức thời :

$$G = dm/d\tau$$

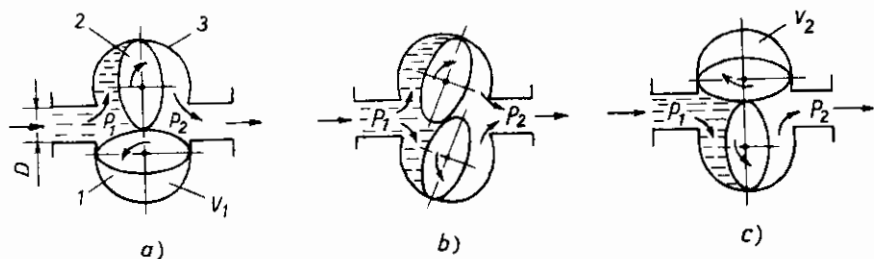
Thiết bị để đo lưu lượng gọi là lưu lượng kế. Ta có thể suy ra :

$$V = \int_{t_1}^{t_2} Q d\tau \quad \text{và} \quad m = \int_{t_1}^{t_2} Q d\tau \quad (9.4)$$

Khi đo lưu lượng chất khí để nhận được kết quả đo không phụ thuộc vào áp suất và nhiệt độ của dòng khí, người ta biểu diễn nó thành đơn vị thể tích qui đổi về điều kiện chuẩn, ở nhiệt độ $t_c = 20^\circ\text{C}$ và áp suất bằng 101325 Pa (tương đương với 760 mm thủy ngân) và độ ẩm tương đối bằng 0%.

9.2. CÔNG TƠ THỂ TÍCH

Nguyên lý hoạt động của công tơ thể tích dựa trên cơ sở đếm trực tiếp số lượng thể tích chất lỏng đi qua buồng chứa đã biết thể tích của nó. Công tơ thường dùng gồm hai bánh răng hình ôvan truyền động ăn khớp với nhau (hình 9.1,a). Khi có dòng chất lỏng chảy qua do có áp lực lớn làm quay bánh răng (2) và truyền chuyển động tới bánh răng (1). Chất lỏng chảy ở phần trên buồng chứa làm cho bánh răng (1) trở về vị trí thẳng đứng, bánh răng (2) nằm ngang. Thể tích V_2 chứa đầy chất lỏng. Sau đó đến lượt bánh răng (1) bị đẩy, làm quay bánh răng (2), thể tích chất lỏng V_2 được truyền qua công tơ. Quá trình lặp lại như trước. Mỗi vòng quay của một bánh răng khoảng V_1 được diễn đầy chất lỏng hai lần. Như vậy một vòng quay của công tơ sẽ cho qua một thể tích chất lỏng bằng bốn lần thể tích V_1 hoặc V_2 . Trên trục của một trong hai bánh răng có gắn cơ cấu đếm đặt ở ngoài công tơ.



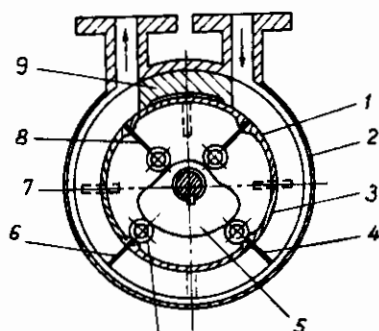
Hình 9.1. Công tơ thể tích.

Để giảm ma sát giữa mặt bánh răng với thành vỏ, các bánh răng đặt theo trục ngang. Nhờ có độ chính xác cao, sai số $\pm (0,5 \div 1)\%$ và

tồn thất áp suất nhỏ, nên công tơ kiểu bánh răng ôvan dùng để đo thể tích các chất lỏng khác nhau, dầu sạch và các sản phẩm của dầu.

Nhược điểm chính của công tơ này là cần phải có thiết bị lọc tốt môi trường đo, gây ra tiếng ồn, cho nên giới hạn đo từ $0,01 - 250 \text{ m}^3/\text{giờ}$. Để đo các dòng khí, người ta sử dụng công tơ khí kiểu quay. Nguyên lý tác dụng tương tự như nguyên lý làm việc của công tơ bánh răng ôvan (hình 9.2).

Công tơ có thể đo được lưu lượng từ $40 - 40\,000 \text{ m}^3/\text{giờ}$ với cấp chính xác 2 và 3. Công tơ gồm một vỏ hình trụ (2) có tang quay (3), phía trong có đặt cố định một cơ cấu hình cam (5). Tựa trên cam là bốn bánh lăn nhỏ (6) trên đó gắn các cánh 1, 4, 7 và 8. Chất lỏng cần đo lưu lượng chuyển động trong khoảng trống giữa mặt trong của vỏ (2) và bề mặt của tang quay (3). Tang quay được nhờ áp suất chất lỏng đưa vào tác dụng lên cánh (4). Khi quay, các con lăn (6) tiếp xúc với mặt cam (5) và lần lượt ấn vào vị trí ngoài và trong của tang. Chuyển động quay của tang được truyền đến cơ cấu đếm sau một vòng quay của tang, thể tích chất lỏng chuyển qua công tơ ứng với vành chất lỏng giữa vỏ và mặt tang. Nắp (9) giữ cho dòng chảy thông suốt từ cửa vào đến cửa ra. Công tơ kiểu cánh làm việc tốt trong các điều kiện cố định ở các nhà máy hóa dầu cũng như trên các thiết bị di động. Công tơ được sản xuất với đường kính $100 - 150 \text{ mm}$, giới hạn đo trên là $100 - 300 \text{ m}^3/\text{giờ}$, cấp độ chính xác 0,25 ; 0,5.



Hình 9.2. Công tơ khí kiểu quay.

9.3. CÔNG TƠ TỐC ĐỘ

Công tơ tốc độ dùng để xác định lượng thể tích môi trường đo, nhưng khác với công tơ thể tích là không có buồng đo và tiến hành đo gián tiếp số lượng vật chất thành đơn vị thể tích. Phần tử nhạy cảm của công tơ tốc độ là một tuabin nhỏ hướng trục được đặt theo chiều quay của dòng chất lỏng qua công tơ.

Nguyên lý tác dụng của công tơ tốc độ dựa trên cơ sở là số vòng quay của tuabin trong một đơn vị thời gian tỷ lệ với tốc độ dòng chảy.

$$n = kW \quad (9.5)$$

ở đây k : hệ số tỷ lệ, W : tốc độ dòng chảy qua một tiết diện F của công tơ.

Lưu lượng thể tích qua công tơ bằng

$$Q = W.F \quad (9.6)$$

Từ hai phương trình (9.5) và (9.6) ta tìm được

$$n = k.Q/F \quad (9.7)$$

Từ đó ta thấy rằng thang chia của tốc kế chỉ giá trị tức thời của tốc độ n của tuabin có thể chia độ theo đơn vị lưu lượng thể tích của dòng chảy. Biểu thức (9.7) có tính với giá trị tức thời :

$$n d\tau = \frac{k}{F} dV \quad \text{lấy tích phân từ } \tau_1 - \tau_2 \text{ ta được :}$$

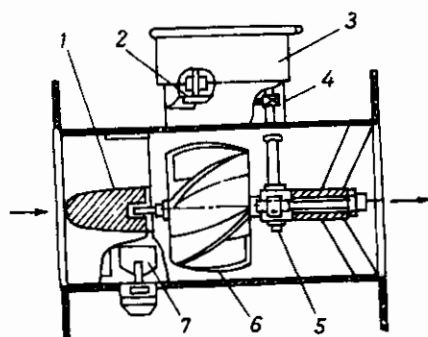
$$V = \frac{k}{F} (N_2 - N_1) \quad (9.8)$$

$$\text{ở đây } N_2 - N_1 = \int_{\tau_1}^{\tau_2} n d\tau$$

Như vậy đo tổng số vòng quay của tuabin nhờ có cơ cấu đếm vòng quay có thể nhận được thông tin về số lượng thể tích của chất lỏng. Nếu như công tơ tốc độ được cấp điện từ máy phát tốc độ thì nó có thể đo lưu lượng thể tích của dòng chảy. Khi sử dụng công tơ tốc độ để đo lưu lượng thể tích các chất thường người ta dùng máy phát tốc độ kiểu điện. Rôto của máy phát được gắn trên trục quay của tuabin còn số đo cảm ứng trong cuộn dây stato được đo bằng vôn kế. Sơ đồ của công tơ tốc độ tuabin hướng trục chỉ ra trên hình 9.3.

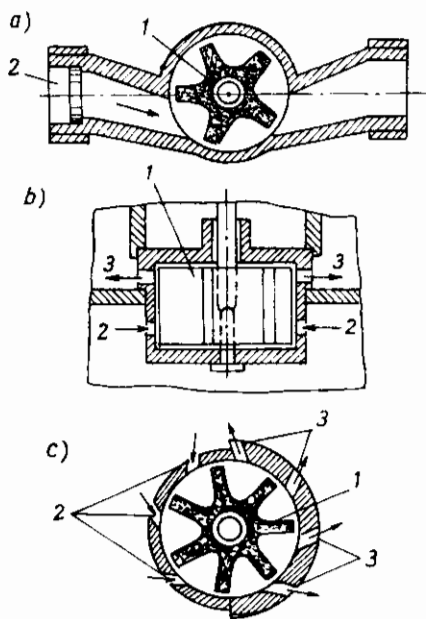
Bên trong vỏ ta đặt một tuabin có dạng vít xoắn nhiều đầu dọc theo phương ngang của chất lỏng cần đo. Trước tuabin có đặt một thiết bị chỉnh dòng chảy (1) dùng để san phẳng dòng rối ở cửa vào và loại bỏ xoáy. Sự quay của tuabin được truyền qua cặp bánh răng trục vít (5) tới cơ cấu (2) đặt trong buồng (4) truyền qua miếng đệm của thiết bị đếm (3).

Để điều chỉnh tốc độ quay của tuabin trong quá trình kiểm tra công tơ, người ta đặt trước một



Hình 9.3. Sơ đồ cấu tạo công tơ tốc độ tuabin hướng trục.

thiết bị điều chỉnh t , cho phép hiệu chỉnh một trong những hướng cánh của bộ định hướng dòng chảy. Công tơ tuabin hướng trục được chế tạo với đường kính từ 50 - 300 mm để đo khối lượng các chất có lưu lượng 50 - 300 m³/giờ, cấp chính xác 1; 1,5; 2. Để đo khối lượng chất lỏng có lưu lượng nhỏ người ta dùng công tơ tuabin kiểu tiếp tuyến. Trong công tơ này, tuabin có dạng cánh thẳng hay cong được đặt trên trục đứng. Dòng chảy tiếp tuyến với tuabin làm cho nó quay. Tùy thuộc vào phương pháp dẫn chất lỏng tới cánh tuabin mà người ta chia thành công tơ dòng đơn và nhiều dòng. Chất lỏng trong công tơ đơn (hình 9.4a) được dẫn trực tiếp bằng ống dẫn. Cánh tuabin (1) chỉ có một dòng chảy qua màng lọc (2).



Hình 9.4. Công tơ tuabin tiếp tuyến.

Ở công tơ nhiều dòng (hình 9.4b) vỏ của nó phải kết cấu sao cho có hai dãy giclơ đặt đều đặn theo chu vi. Vị trí giclơ ở vỏ công tơ cho trên hình 9.4c. Chất lỏng chảy qua dãy giclơ phía dưới truyền đến tuabin. Công tơ một dòng chảy có cấu tạo đơn giản hơn và tổn thất áp suất nhỏ, nhưng chúng có độ tin cậy nhỏ, do sự mòn gối đỡ tuabin theo một phía. Công tơ với tuabin tiếp tuyến có đường kính 15 - 40 mm, giới hạn trên là 3 - 20 m³/giờ, cấp chính xác 2, 3.

9.4. ĐO LƯU LƯỢNG BẰNG CÁCH THAY ĐỔI ĐỘ GIẢM ÁP SUẤT

Một trong những nguyên tắc phổ biến để đo lưu lượng chất lỏng, khí và hơi là nguyên tắc thay đổi độ giảm áp suất qua ống thu hẹp. Ưu điểm của các dụng cụ này là : đơn giản, chắc chắn, không có tiếng ồn, dễ chế tạo hàng loạt, đo được ở bất kỳ môi trường, nhiệt độ và áp suất nào, giá thành thấp.

Chúng ta khảo sát nguyên lý dòng chảy trong một ống dẫn có đặt một thiết bị thu hẹp (hình 9.5). Khi có dòng chất lỏng chảy qua lỗ thu hẹp, thì tốc độ của nó tăng lên so với tốc độ trước lỗ thu hẹp. Do đó

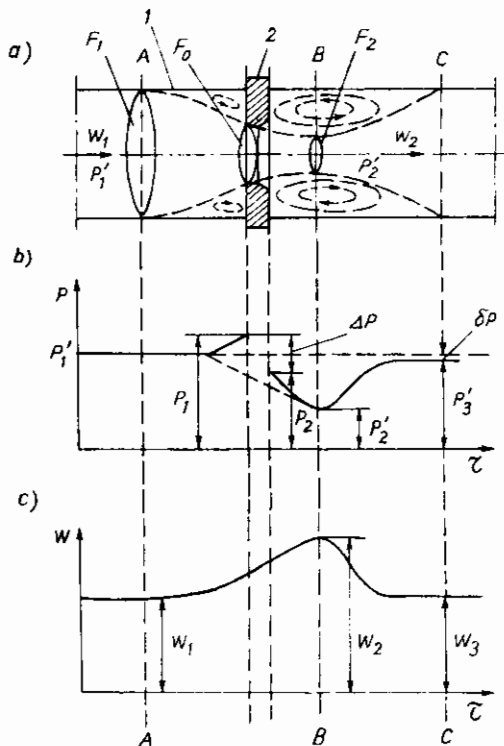
áp suất dòng chảy ở cửa ra của lỗ thu hẹp giảm xuống tạo nên sự chênh áp suất phía trước và sau lỗ thu hẹp. Áp kế vì sai do được sự chênh áp này, từ đó có thể đo được lưu lượng của dòng chảy.

Trên hình 9.5a vẽ sơ đồ một dòng chảy lý tưởng trong ống dẫn (1) qua lỗ thu hẹp (2) kiểu màng ngăn và biểu đồ phân bố áp suất (hình 9.5b) và tốc độ (hình 9.5c). Ta chia ống dẫn thành ba tiết diện A-A ; B-B ; C-C qua tiết diện A-A, dòng chảy bị nén. Nhờ có quán tính mà lực nén kéo dài đến cửa ra của màng ngăn đạt giá trị lớn nhất ở tiết diện B-B. Giảm tiết diện của lỗ thu hẹp làm tăng tốc độ từ giá trị W_1 ở tiết diện A-A đến W_2 ở tiết diện B-B.

Còn áp suất ở đây cần phân biệt áp suất ở thành ống và áp suất theo trục. Áp suất ở thành ống P_1 trước màng ngăn tăng lên một chút (do việc giảm tốc độ ở vùng này), còn theo trục ống dẫn, áp suất giảm đến giá trị cực tiểu P_2 ở tiết diện B-B. Tùy theo mức độ mở rộng dòng chảy mà tốc độ dòng chảy giảm còn áp suất ở thành ống tăng đến tiết diện C-C thì ổn định.

Sự thay đổi áp suất dòng chảy theo trục ống dẫn thực tế tạo ra sự thay đổi áp suất gần thành ống đặc biệt ở phía trước màng chắn. Nhưng nếu tốc độ dòng chảy ở tiết diện C - C là W_3 trong trường hợp lý tưởng bằng W_1 trước lỗ thu hẹp, thì áp suất P'_3 sai lệch với P'_1 một lượng $\delta P = P'_1 - P'_3$ gọi là tổn thất áp suất tạo ra do dòng xoáy và ma sát với thành ống.

Giả sử chuyển động của chất lỏng là ổn định, đồng nhất và không thay đổi pha khi đi qua màng, dòng chảy điển đầy ống dẫn trước và sau lỗ thu hẹp. Đối với đoạn ống nằm ngang, phương trình năng lượng của dòng chảy không thu hẹp đối với tiết diện A-A và B-B là :



Hình 9.5. Phân bố áp suất của một dòng chảy lý tưởng trong ống.

$$\frac{P'_1}{\rho} + \frac{W_1^2}{2} = \frac{P'_2}{\rho} + \frac{W_2^2}{2} + \xi \frac{W_2^2}{2} \quad (9.9)$$

ở đây P'_1, P'_2 : áp suất tĩnh tuyệt đối ở tiết diện A-A và B-B

W_1, W_2 : tốc độ dòng chảy ở tiết diện A-A và B-B.

ρ : mật độ dòng chảy, ξ : hệ số tổn thất thủy lực

$\xi W_2^2/2$: tổn thất năng lượng do ma sát ở phần ống A-A, B-B.

Nhờ có phương trình dòng chảy liên tục :

$$F_1 W_1 = F_2 W_2 \quad (9.10)$$

F_1, F_2 : tiết diện ngang của ống dẫn.

Nếu ta đưa thêm ký hiệu sau đây :

$$F_0/F_1 = d^2/D^2 = m \text{ và } F_2/F_0 = \mu$$

F_0 và d là diện tích và đường kính lỗ thu hẹp; D : đường kính ống dẫn, m : tỷ số thu hẹp của màng chắn; μ : hệ số thu hẹp dòng chảy. Từ các phương trình trên ta tìm được :

$$W_1 = \mu \cdot m \cdot W_2$$

Thay giá trị W_1 vào phương trình (4.9), ta xác định được tốc độ dòng chảy ở nơi thu hẹp nhất :

$$W_2 = \frac{1}{\sqrt{\xi - \mu^2 m^2}} \sqrt{\frac{2}{\rho} (P'_1 - P'_2)} \quad (9.11)$$

Bình thường không đo độ giảm áp suất ở tiết diện A-A và B-B (nghĩa là không phải giá trị P'_1, P'_2) mà đo được trực tiếp trước và sau lỗ thu hẹp, ta có :

Quan hệ giữa P_1, P_2 với P'_1 là P'_2 như sau :

$$\sqrt{P'_1 - P'_2} = \psi \sqrt{P_1 - P_2} \quad (9.12)$$

Từ đó ta có :

$$W_2 = \frac{\psi}{\sqrt{\xi - m^2 \cdot \mu^2}} \cdot \sqrt{\frac{2}{\rho} (P_1 - P_2)} \quad (9.13)$$

Lưu lượng khối của chất lỏng

$$G = W_2 \cdot F_2 \cdot \rho = W_2 \cdot \mu \cdot F_0 \cdot \rho \text{ và } G = \frac{\Psi \cdot \mu}{\sqrt{\xi - m^2 \mu^2}} \cdot F_0 \sqrt{2\rho(P_1 - P_2)} \quad (9.14)$$

Hệ số μ và Ψ không thể xác định một cách độc lập, trong thực tế người ta đưa thêm một hệ số lưu lượng α , được xác định bằng thực nghiệm :

$$\alpha = \frac{\Psi \cdot \mu}{\sqrt{\xi - m^2 \mu^2}} \quad (9.15)$$

Như vậy từ hai biểu thức trên với chú ý là $F_0 = \pi d^2/5$. Ta nhận được phương trình lưu lượng khối G và khối lượng thể tích Q của dòng chất lỏng không bị thu hẹp :

$$G = \alpha \cdot \frac{\pi d^2}{4} \sqrt{2\rho(P_1 - P_2)} \quad (9.16)$$

$$Q = \alpha \cdot \frac{\pi d^2}{4} \sqrt{\frac{2}{\rho}(P_1 - P_2)} \quad (9.17)$$

Nếu thiết bị có lỗ thu hẹp được đặt trong môi trường bị nén (khí, hơi) thì do áp suất giảm mà thể tích của nó tăng lên. Do đó làm tăng tốc độ dòng khí và lớn hơn tốc độ môi trường không bị nén. Như vậy độ giảm áp suất tăng lên trong thiết bị có lỗ thu hẹp. Trong các công thức trên, người ta đưa thêm hệ số $\varepsilon < 1$ gọi là hệ hiệu chỉnh có tính đến dự giãn nở của môi trường do. Khi đó phương trình đối với lưu lượng khối G và lưu lượng thể tích Q của môi trường không bị nén viết dưới dạng.

$$G = c \cdot \alpha \cdot \varepsilon \cdot d^2 \sqrt{\rho(P_1 - P_2)} \quad (9.18)$$

$$Q = c \cdot \alpha \cdot \varepsilon \cdot d^2 \sqrt{\frac{1}{\rho}(P_1 - P_2)} \quad (9.19)$$

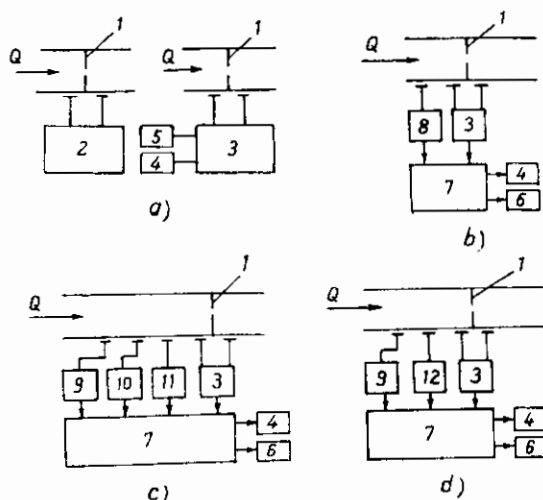
ở đây $c = (\pi \sqrt{2})/4$ là một hằng số.

ρ : tỷ trọng của môi trường trong điều kiện làm việc ở cửa vào lỗ thu hẹp.

Phương trình (9.18) và (9.19) là phương trình lưu lượng cơ bản dùng cho môi trường không chịu nén cũng như chịu nén. Đối với môi trường không chịu nén thì $\varepsilon = 1$. Các phương trình chỉ có khả năng áp dụng cho các khí và hơi có tốc độ nhỏ hơn tốc độ tới hạn.

9.5. HỆ THỐNG ĐO LƯU LƯỢNG THEO NGUYÊN LÝ ĐỘ GIẢM ÁP SUẤT

Trên hình 9.6 là sơ đồ khối của hệ thống đo lưu lượng theo nguyên lý độ giảm áp suất. Trên sơ đồ : 1. Thiết bị cơ lỗ hẹp. 2. Lưu lượng kế vi sai. 3. Bộ biến đổi độ giảm áp suất. 4. Dụng cụ đo thứ cấp. 5. Lưu lượng kế kiểu tích phân. 6. Dụng cụ tính khối lượng chất lỏng. 7. Thiết bị tính. 8. Biến đổi tỷ trọng các chất trong điều kiện làm việc. 9. Bộ biến đổi nhiệt độ. 10. Bộ biến đổi áp suất. 11. Bộ biến đổi tỷ trọng trong điều kiện định mức. 12. Bộ biến đổi tỷ trọng chất lỏng ở nhiệt độ 20°C.

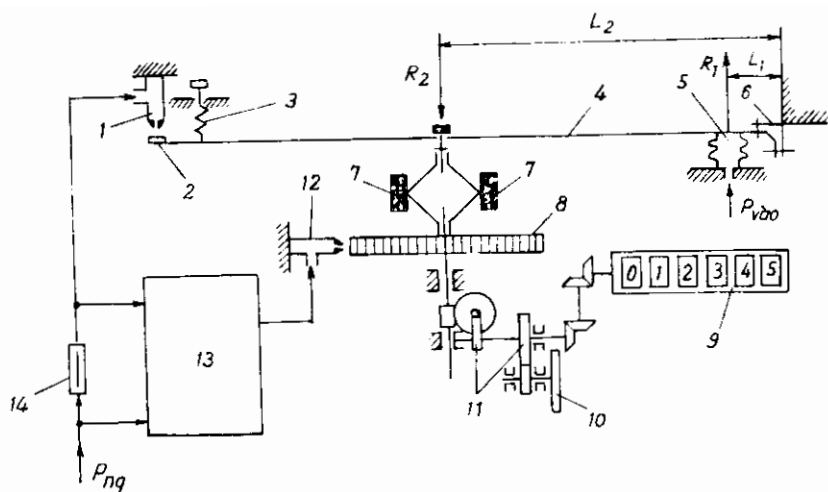


Hình 9.6. Sơ đồ khối hệ thống đo lưu lượng theo nguyên lý giảm áp suất.

Để xác định khối lượng chất chảy qua ống dẫn khi tỷ trọng không đổi, ta có thể sử dụng bộ tích phân lưu lượng đặc biệt (hình 9.7).

Bộ tích phân lưu lượng dùng khí nén ngoài phép tính tổng, nó còn thực hiện phép khai căn bậc hai. Tín hiệu khí nén đưa vào là áp suất $P_{\text{vào}}$ thay đổi trong phạm vi từ 0,02 – 0,01 MPa chuyển đến từ áp kế vi sai vào xiphông đo (5) và tạo ra lực R_1 lên cánh tay đòn (4), được giữ bằng lò xo treo (6) gắn trên vỏ dụng cụ đo. Khi tăng tín hiệu vào, nắp (2) chuyển gần tới giclơ (1) làm tăng áp suất trong đường dẫn khí giữa giclơ (1) và bộ cân khí (14). Áp suất này chuyển đến cửa vào của bộ khuếch đại khí nén (13) làm tăng áp suất cửa ra của giclơ (12).

Dòng không khí làm quay tuabin (8) và cơ cấu tiết chế Watt (7) làm quay hệ thống giảm tốc bánh răng – trục vít (11), đĩa đếm (10) và công tơ hiện số (9). Việc tăng áp suất trong giclơ (12) và tăng tốc độ tuabin kéo



Hình 9.7. Sơ đồ bộ tích phân lưu lượng bằng khí nén.

dài cho đến khi mômen quay M_2 trên cánh tay đòn (4) do lực R_2 tạo bởi lực ly tâm của vật nặng (7) cân bằng với mômen quay M_1 tạo ra bởi lực sinh ra trong xiphông (5). Mômen M_1 , M_2 tính bằng :

$$M_1 = L_1 \cdot F_{hd} (P_{vào} - 0,02) \text{ còn } M_2 = L_2 \cdot a \cdot \omega^2.$$

ở đây L_1 , L_2 : cánh tay đòn tương ứng với các lực đối với điểm quay ;

F_{hd} : diện tích hiệu dụng của xiphông,

a : hằng số phụ thuộc khối lượng vật nặng (7) và khoảng cách trục quay;

$P_{vào}$: áp suất đưa đến từ mômen vi sai;

ω : tốc độ góc của tuabin.

$$\omega = \sqrt{(L_1 F_{hd}) / (L_2 a)} \sqrt{P_{vào} - 0,02} = b \cdot \sqrt{P_{vào} - 0,02} \quad (9.20)$$

với $b = \sqrt{(L_1 \cdot F_{hd}) / (L_2 \cdot a)}$ là một hằng số.

Vì rằng lưu lượng liên hệ với tín hiệu của áp kế vi sai theo quan hệ :

$$G = b_0 \cdot \sqrt{P_{vào} - 0,02} \quad (9.21)$$

(b_0 : hằng số) thì $G = b_0 \omega / b$. Nghĩa là tốc độ góc của tuabin tỷ lệ với lưu lượng cho nên công tơ (9) là một bộ tích phân theo từng thời gian tách riêng ra số vòng quay, tỷ lệ với lưu lượng. Trong khoảng thời gian từ $\tau_2 - \tau_1$, khối lượng chất lỏng chảy qua ống :

$$m = \int_{\tau_1}^{\tau_2} G d\tau = \int_{\tau_1}^{\tau_2} (b_0/b) \omega d\tau \quad (9.22)$$

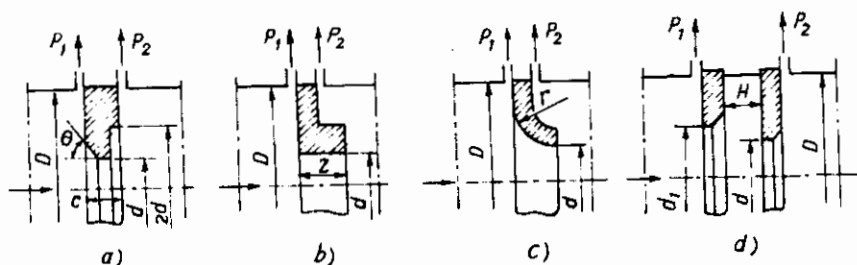
ở đây b_0/b : hệ số hằng số của bộ tích phân.

Công tơ (9) làm phép tổng các giá trị tức thời và hiệu số chỉ của nó trong khoảng thời gian τ_1 và τ_2 . Để trừ đi tín hiệu ban đầu của áp kế là 0,02 MPa, người ta dùng lò xo (3). Sai số của bộ tích phân trong phạm vi đo (30 - 100%) tín hiệu phát ra trong một khoảng thời gian bất kỳ không vượt quá $\pm 1\%$.

9.6. ĐO LƯU LƯỢNG CÁC CHẤT KHÍ SỐ REYNOL NHỎ

Đối với các dòng vật chất có số Reynol nhỏ hơn giá trị tới hạn, khi đó không dùng được các lỗ thu hẹp tiêu chuẩn, vì hệ số lưu lượng không phải là hằng số. Ví dụ như các chất lỏng nhớt, đặc biệt dầu mỏ có parafin, mazút, và một số sản phẩm dầu mỏ, dòng khí ở nhiệt độ cao.

Để đo lưu lượng khí số Reynol nhỏ, người ta có thể sử dụng nguyên lý thay đổi độ giảm áp suất với các thiết bị có lỗ thu hẹp đặc biệt (hình 9.8), ví dụ như màng ngăn có lỗ côn, giclơ hình trụ, giclơ cong có màng kép. Trên cơ sở thực nghiệm, người ta đưa ra kết quả của hệ số lưu lượng riêng cho mỗi lỗ thu hẹp và xem như không đổi trong phạm vi số Reynol giới hạn.



Hình 9.8. Các nguyên lý thay đổi độ giảm áp suất.

9.7. LƯU LƯỢNG KẾ MAO DẪN

Để đo lưu lượng nhỏ theo nguyên lý thay đổi độ giảm áp, ngoài thiết bị có lỗ thu hẹp người ta còn dùng các ống mao dẫn. Đối với các ống này, tỷ số giữa chiều dài l so với đường kính d thường lớn gấp 50 lần, làm việc trong môi trường là dòng chảy tầng, còn tổn thất áp suất xác định bởi ma sát nhớt. Dòng chảy như vậy được mô tả bằng qui luật

Puazeil, còn lưu lượng và thể tích của chất lỏng được xác định tương ứng với biểu thức :

$$G = \frac{\pi d^4 \cdot \rho}{128 \eta \cdot l} (P_1 - P_2) \quad (9.23)$$

$$Q = \frac{\pi d^4 \cdot \rho}{128 \eta \cdot l} (P_1 - P_2) \quad (9.24)$$

ở đây ρ : tỷ trọng chất lỏng.

η : độ nhớt động học của chất lỏng.

Từ biểu thức (9.23) và (9.24) ta thấy rằng, lưu lượng khối và lưu lượng thể tích phụ thuộc tuyến tính vào độ giảm áp suất trên ống mao dẫn, cho nên đặc tính tính của lưu lượng kế mao dẫn là một đường thẳng. Khi môi trường đo là khí, thì phương trình Puazeil có dạng :

$$G = \frac{\pi d^4 (P_1^2 - P_2^2)}{256 \cdot \eta \cdot lRT} = \frac{\pi d^4 \rho_{tb}}{128 \eta \cdot l} (P_1 - P_2) \quad (9.25)$$

ở đây $\rho_{tb} = (P_1 + P_2)/(2RT)$: là tỷ trọng trung bình trong ống mao dẫn ở nhiệt độ T. Khi độ giảm áp suất $P_1 - P_2$ không lớn, giá trị ρ_{tb} xem như không đổi.

Vì rằng độ nhớt của dòng chất lỏng cần đo phụ thuộc vào nhiệt độ, nên để bảo đảm cho phép đo đủ chính xác, cần phải đặt ống mao dẫn vào trong máy điều nhiệt hay tự động hiệu chỉnh khi độ nhớt thay đổi.

Trong điều kiện bảo đảm ống mao dẫn sạch, lưu lượng kế có cấp chính xác 0,5 - 1. Nó có thể đo lưu lượng nhỏ đến 1 g/giờ. Nhưng chúng có thể đo các lưu lượng lớn từ 1500 - 2000 kg/giờ, bằng cách đặt một chùm ống mao dẫn song song.

9.8. LƯU LƯỢNG KẾ TỪ ĐIỆN

Nguyên lý hoạt động của lưu lượng kế từ điện dựa trên định luật cảm ứng điện từ của Faraday. Khi có dây dẫn chuyển động trong từ trường cắt các đường sức, trong dây dẫn cảm ứng một sức điện động tỷ lệ với tốc độ chuyển động của dây dẫn. Nếu ta dùng một chất lỏng dẫn điện chảy qua giữa hai cực của một nam châm và đo sđđ sinh ra trong chất lỏng, thì có thể xác định được tốc độ dòng chảy hay lưu lượng thể tích. Sơ đồ chỉ ra trên hình 9.9.

Giữa hai cực N và S của một nam châm người ta đặt một đoạn ống kim loại không từ tính (3) vuông góc với đường sức của từ trường.

Mặt trong của ống (3) phủ một lớp vật liệu cách điện (sơn emay, thủy tinh hữu cơ). Trong mặt phẳng vuông góc với đường sức, người ta đặt hai điện cực (1) và 2). Các điện cực nối với đồng hồ đo (4) milivôn kế hay điện thế kế. Sđđ cảm ứng trong từ trường không đổi là :

$$E = B.W.D = \frac{4B}{\pi \cdot D} \cdot Q \quad (9.26)$$

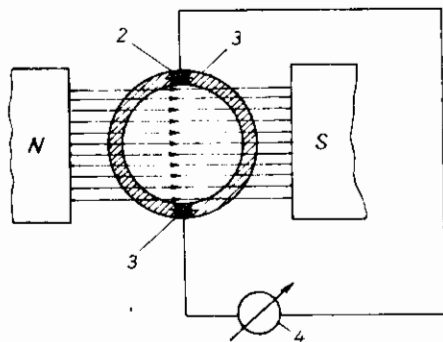
ở đây B : cường độ từ cảm.

W : tốc độ trung bình của dòng chảy.

D : đường kính trong của ống dẫn.

Q : lưu lượng thể tích của chất lỏng.

Khi $B = \text{const}$ thì sđđ phụ thuộc tuyến tính vào lưu lượng thể tích của chất lỏng. Lưu lượng kế từ điện dùng để đo các chất lỏng có độ điện dẫn không nhỏ hơn $10^{-5} \pm 10^{-6}$ Simen/m.



Hình 9.9. Sơ đồ lưu lượng kế từ điện.

Nhược điểm chủ yếu của lưu lượng kế có từ trường không đổi là xuất hiện trên các điện cực sđđ Galvanic và sđđ phân cực làm yếu cảm ứng hữu ích làm tăng sai số của phép đo. Sđđ ký sinh phân cực thực tế có thể loại trừ khi dùng nam châm điện xoay chiều. Trong trường hợp này, sđđ cảm ứng :

$$E = 4Q.B_{\max} \sin (2\pi f.t/(\pi.D)) \quad (9.27)$$

ở đây $B_{\max}$ giá trị biên độ lớn nhất của từ cảm.

Nhưng dùng nam châm xoay chiều lại tạo ra một số hiệu ứng làm méo tín hiệu hữu ích. Mặc dù vậy trong công nghiệp người ta vẫn dùng lưu lượng kế nam châm xoay chiều. Chúng có ưu điểm : trước hết khi đo lưu lượng thể tích không phải đo tỷ trọng chất lỏng. Ngoài ra, sự chỉ thị của lưu lượng kế không chịu ảnh hưởng ngoài đưa vào chất lỏng : các phần tử hạt, bọt khí và ngay cả các tham số của dòng chất lỏng (áp suất, nhiệt độ, độ nhớt, tỷ trọng v.v...) nếu chúng không làm thay đổi độ điện dẫn của chất lỏng.

Lưu lượng kế điện từ hiện nay cho phép đo lưu lượng trong phạm vi rộng $1 - 2500 \text{ m}^3/\text{giờ}$ cho các ống dẫn có đường kính từ $10 - 1000 \text{ mm}$ với tốc độ chuyển động đều từ $0,6 - 10 \text{ m/s}$. Cấp chính xác của lưu lượng kế : 1; 2,5.

9.9. CẢM BIẾN ĐO MỨC

9.9.1. *Khái niệm*

Người ta gọi mức là chiều cao điển đầy các chất lỏng hay các hạt trong các thiết bị công nghệ. Mức của môi trường làm việc là một tham số công nghệ, thông tin về nó dùng để kiểm tra chế độ làm việc của các thiết bị công nghệ, trong một số trường hợp dùng để điều khiển các quá trình sản xuất. Bằng phép đo mức có thể nhận được thông tin về khối lượng chất lỏng chứa trong các bể. Các thông tin tương tự được sử dụng rộng rãi trong quá trình kiểm kê hàng hóa và điều khiển quá trình sản xuất. Đơn vị đo mức là đơn vị đo chiều dài.

Người ta chia phép đo mức thành : đo mức môi trường làm việc, đo khối lượng chất lỏng trong các thiết bị công nghệ, truyền tín hiệu mức của môi trường làm việc. Theo phạm vi đo người ta chia thành phạm vi đo rộng và hẹp. Phạm vi đo rộng (giới hạn từ 0,5 - 20 m) dùng cho các quá trình kiểm kê hàng, còn phạm vi đo giới hạn từ (0 ÷ 100 mm) hay (0 ÷ 450 mm) thường dùng trong hệ thống điều chỉnh tự động.

Hiện nay phép đo mức được thực hiện trong nhiều lĩnh vực công nghệ theo những nguyên lý hoạt động khác nhau, nhưng phổ biến nhất là phép đo mức bằng cột nước thủy tĩnh, cảm biến điện v.v...

9.9.2. *Cảm biến đo mức kiểu phao*

Đo mức bằng phao là cách đơn giản nhất. Nó có thể đo mức trong phạm vi hẹp và rộng. Thiết bị để đo mức trong phạm vi hẹp thường dùng là các phao hình cầu và đường kính 80 - 200 mm bằng thép không gỉ (hình 9.10). Phao nổi trên mặt chất lỏng và qua một thanh nối với miếng phốt đệm đặc biệt, rồi nối với một kim chỉ thị hoặc một bộ biến đổi góc quay thành tín hiệu điện hay khí nén (1).

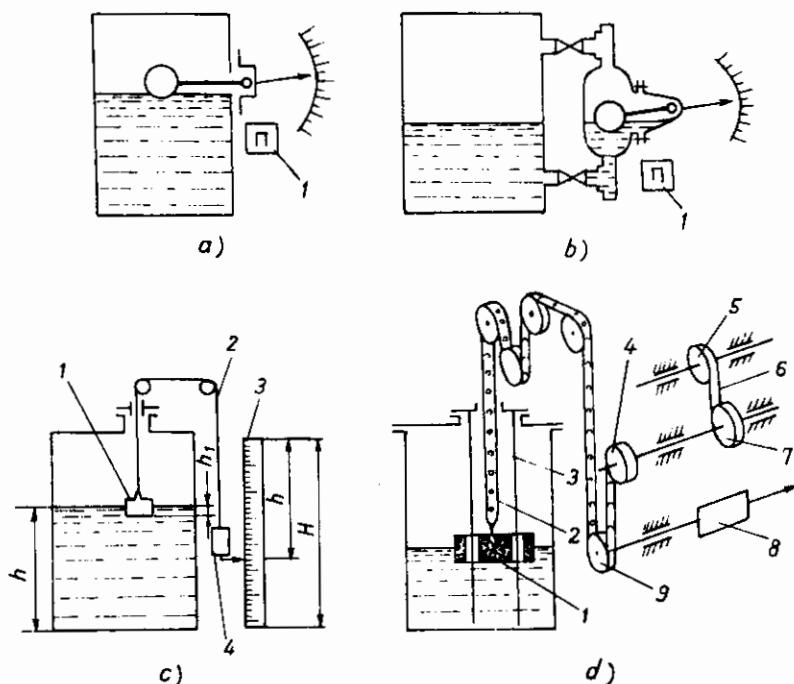
Đo mức ở phạm vi hẹp có hai kiểu : kiểu đặt qua mặt bích (hình 10c) hay trong bình đo nước (hình 9.10d), tùy theo khả năng của các thiết bị công nghệ. Phạm vi đo nhỏ nhất của thiết bị đo mức này là từ -10 đến 10 mm và lớn nhất từ -200 đến +200 mm. Cấp chính xác là 1,5.

Phao đo mức trong phạm vi rộng (hình 9.10c) gồm phao (1) nối với đối trọng (3) bằng dây mềm (2). Ở phía dưới của đối trọng có gắn kim chỉ thị chỉ giá trị mức chất lỏng theo thang chia vạch (3). Khi tính toán đo mức bằng phao, ta phải chọn cấu trúc của phao sao cho bảo đảm hệ thống "phao - đối trọng", chỉ xác định theo độ sâu của phao. Khi bỏ qua

trọng lượng dây dẫn và ma sát của các ròng rọc, ta có phương trình cân bằng :

$$Gr = G_{ph} - S \cdot h_1 \cdot \rho_L \cdot g \quad (9.28)$$

Ở đây : Gr - trọng lượng của đối trọng; G_{ph} - trọng lượng phao; S - diện tích phao; h_1 - chiều sâu nhúng chìm của phao; ρ_L : tỷ trọng của chất lỏng.



Hình 9.10. Sơ đồ đo mức bằng phao.

Nâng cao mức chất lỏng làm thay đổi chiều sâu nhúng chìm của phao do có tác dụng thêm của lực đẩy và đẳng thức (9.28) không cân bằng, đối trọng hạ xuống cho đến khi chiều sâu nhúng chìm của phao bằng h_1 . Khi mức chất lỏng hạ thấp xuống, sức đẩy lên phao giảm và phao đi xuống cho đến khi chiều sâu nhúng chìm của phao bằng h_1 . Để truyền thông tin mức chất lỏng trong bể người ta dùng hệ thống xenxin. Bình thường trục của xenxin phát có nối với tang quay được nối với hệ thống dây dẫn, còn trục của xenxin thu gắn vào bộ phận đếm.

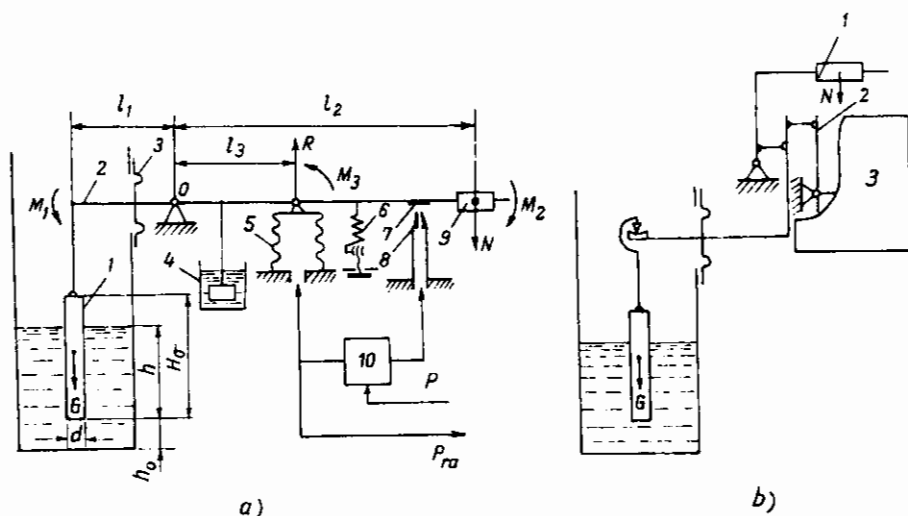
Thiết bị đo mức (hình 9.11d) gồm một phao (1) được treo bằng băng thép có khoan các lỗ nhỏ (2). Để loại bỏ dịch chuyển ngang của phao, người ta dùng thanh định hướng (3). Đặc điểm của thiết bị đo mức này

là dùng động cơ kiểu lò xo. Động cơ gồm tang quay (5) và (6). Khi phao ở vị trí trên cùng băng thép (2) quấn vào tang quay (4). Khi mức chất lỏng hạ thấp, trọng lực của phao thắng sức cản ma sát trong hệ thống động và tạo ra động cơ lò xo.

Để truyền thông tin đi xa, ta có thể gắn trên trục một thiết bị biến đổi góc quay thành tín hiệu điện hoặc tín hiệu khí ép. Giới hạn phạm vi đo nhỏ nhất từ 0 - 12 m và lớn nhất từ 0 - 20 m. Sai số tuyệt đối của phép đo là $\pm 1 - \pm 10$.

9.9.3. Đo mức bằng phao đứng

Nguyên tắc làm việc của thiết bị đo mức bằng phao đứng theo định luật Aximét. Phần tử thụ cảm là một phao đứng hình trụ chế tạo bằng các vật liệu có tỷ trọng lớn hơn tỷ trọng nhúng chìm trong chất lỏng. Khi mức chất lỏng thay đổi, thì khối lượng của phao trong chất lỏng thay đổi tỷ lệ với sự thay đổi mức. Nhờ cơ bộ biến đổi "lực - áp suất" hay "lực-dòng điện", ta có thể chuyển đổi trọng lượng của phao thành các tín hiệu đo lường. Sơ đồ thiết bị đo mức kiểu phao, chuyển đổi thành tín hiệu khí nén chỉ ra trên hình 9.11a.



Hình 9.11. Sơ đồ đo mức kiểu phao dùng khí nén.

Khi mức chất lỏng trong thiết bị bằng giá trị ban đầu h_0 (h_0 có thể bằng 0), cánh tay đòn (2) nằm ở vị trí cân bằng vì mômen M_1 gây ra bởi trọng lượng G của phao cân bằng với mômen M_2 gây ra do đối trọng N .

Khi mức chất lỏng lớn hơn h_0 , phao được nhúng chìm trong chất lỏng, do đó trọng lượng của nó giảm đi, nghĩa là mômen M_1 giảm. Mômen M_2 lớn hơn M_1 làm cho cánh tay đòn (2) quay quanh điểm 0 theo chiều kim đồng hồ và dây nắp (7) của van điều tiết khí ép (8) làm cho áp suất trong đường dẫn vào van điều tiết tăng lên. Áp suất này được chuyển tới bộ khuếch đại khí nén (10) mà tín hiệu ra của nó là tín hiệu ra của thiết bị đo mức. Tín hiệu này đồng thời được gửi đến xiphông (5) một phản hồi âm. Khi P_{ra} tác dụng lên xiphông tạo nên lực R và mômen M_3 cùng chiều với mômen M_1 . Nghĩa là tác dụng của lực R theo chiều khôi phục sự cân bằng của cánh tay đòn (2). Chuyển động của hệ thống biến đổi do dừng lại khi tổng các momen tác dụng lên cánh tay đòn (2) bằng không, nghĩa là :

$$M_1 + M_3 - M_2 = 0 \quad (9.29)$$

$$\text{hay } Gl_1 + Rl_3 = Nl_2 \quad (9.30)$$

ở đây G là trọng lượng của phao khi nhúng chìm trong chất lỏng ở chiều sâu h ; l_1, l_2, l_3 cánh tay đòn của các lực tác dụng lên điểm 0 ; R : lực sinh ra do xiphông 5 ; N : trọng lượng đối trọng. Lực G và L xác định theo biểu thức :

$$G = \frac{\pi d^2}{4} \rho \cdot g \cdot H_\sigma - \frac{\pi d^2}{4} \rho_L gh = \frac{\pi d^2}{4} g (\rho H_\sigma - \rho_L \cdot h) \quad (9.31)$$

$$R = f_{hd} \cdot P_{ra} \quad (9.32)$$

ở đây d và H_σ là đường kính và chiều dài của phao.

ρ : tỷ trọng của vật liệu làm phao.

ρ_L : tỷ trọng chất lỏng; h chiều sâu nhúng chìm của phao trong chất lỏng, nghĩa là giá trị tức thời của mức đo.

f_{hd} : diện tích hiệu dụng của xiphông (5).

Thay các giá trị G, R vào đẳng thức (9.31) ta nhận được :

$$\frac{\pi d^2}{4} \rho \cdot g \cdot H_\sigma \cdot l_1 - \frac{\pi d^2}{4} \rho_L gh l_1 + f_{hd} \cdot P_{ra} \cdot l_3 = Nl_2, \quad (9.33)$$

trong đẳng thức này $\frac{\pi d^2}{4} \rho \cdot g \cdot H_\sigma$: trọng lượng phần nổi của phao.

Nếu chọn tích l_2 bằng $\frac{\pi d^2}{4} \rho \cdot g \cdot H_\sigma \cdot l_1$ (ví dụ thay đổi cánh tay đòn l_2) thì :

$$\frac{\pi d^2}{4} \rho_L \cdot g \cdot H_\sigma \cdot l_1 = f_{hd} \cdot P_{ra} \cdot l_3 \quad (9.34)$$

Từ đó tính được :

$$P_{ra} = \frac{\pi d^2}{4} \cdot \frac{\rho_L \cdot g \cdot l_1}{f_{hd} \cdot l_3} \cdot h = kh \quad (9.35)$$

ở đây $k = \frac{\pi d^2}{4} \cdot \frac{\rho_L \cdot g \cdot l_1}{f_{hd} \cdot l_3}$ - gọi là hệ số truyền của thiết bị đo mức.

Tín hiệu ra P_{ra} của thiết bị đo mức tỷ lệ tuyến tính với giá trị đo mức h . Biểu thức $\frac{\pi d^2}{4} \rho_L g h$ là sự thay đổi trọng lượng ΔG của phao, cho nên ta có thể viết :

$$P_{ra} = k^* \Delta G \quad (9.36) \quad \text{ở đây } k^* = l_1 / (f_{hd} \cdot l_3) \text{ là hằng số.}$$

Sự phụ thuộc của P_{ra} theo (9.36) cho phép chia độ thiết bị đo mức kiểu phao theo phương pháp cân. Tín hiệu phao dùng khí nén thay đổi trong phạm vi từ 0,02 - 0,01 MPa. Giá trị ban đầu của tín hiệu ra (0,02 MPa) cho bởi lò xo (6). Để ngăn ngừa tự dao động của hệ thống đo, ta dùng bộ chống rung (4).

Ngoài thiết bị đo mức kiểu phao dùng khí nén, người ta còn sản xuất các phao đo dựa trên nguyên tắc biến đổi "Lực - áp suất". Sơ đồ nối phao với bộ phận biến đổi chỉ ra trên hình 9.11b. Ở đây (1) là đối trọng, (2) cánh tay đòn, (3) bộ biến đổi.

Phao đo mức làm việc ở nhiệt độ từ -40 đến 400°C với áp suất môi trường đến 16 MPa, cấp chính xác của thiết bị đo mức : 1,0; 1,5.

9.9.4. Đo mức bằng cách đo áp suất thủy tĩnh

Thực chất của phương pháp này là đo áp suất thủy tĩnh P của cột chất lỏng h có tỷ trọng ρ không đổi nhờ đẳng thức

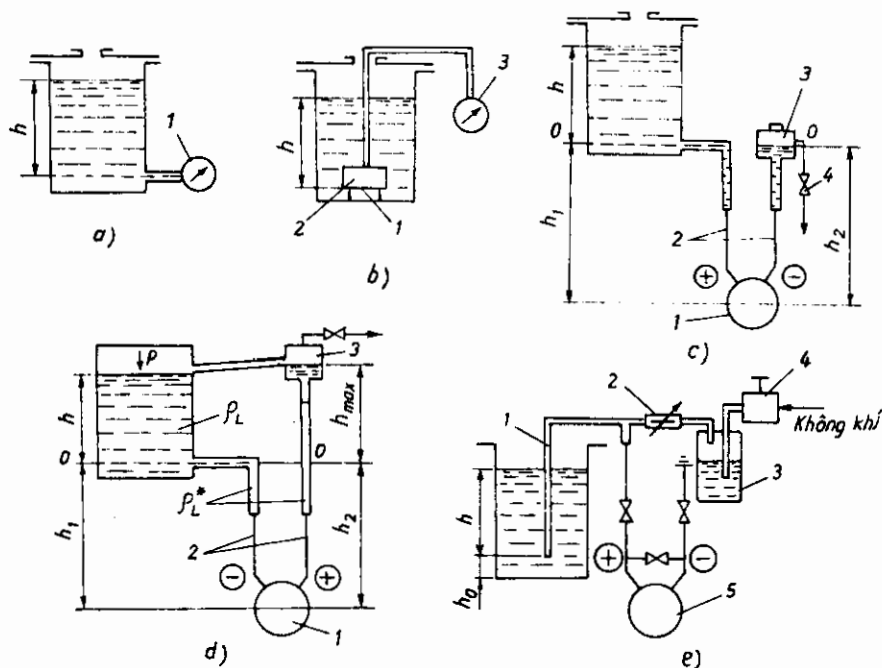
$$P = \rho \cdot g \cdot h \quad (9.37)$$

Đo áp suất thủy tĩnh thực hiện bằng :

- + Áp kế nối ở chiều cao tương ứng với mức thấp nhất của chất lỏng.
- + Áp kế vi sai nối với bể chứa ở chiều cao giới hạn thấp nhất của chất lỏng và nối với phần chứa khí ở phía trên mức chất lỏng.

Trên hình 9.12a là sơ đồ đo mức bằng manomet. Đo áp suất thủy tĩnh cũng có thể thực hiện như sơ đồ hình 9.12b. Theo sơ đồ này, giá trị mức cần đo suy ra từ áp suất không khí diện đầy hệ thống áp kế.

Phía dưới của hệ thống áp kế đặt chuông (2), mà lỗ thông cắt qua màng mỏng bằng chất dẻo để loại trừ tạp chất không khí trong chất lỏng. Nhưng nó có sai số trong quá trình đo mức do sự đàn hồi của màng. Ưu điểm của sơ đồ đo áp suất thủy tĩnh là sự chỉ thị của áp kế không phụ thuộc vào sự bố trí so với mức chất lỏng trong bình.



Hình 9.12. Sơ đồ đo mức bằng cách đo áp suất.

Đo áp suất thủy tĩnh bằng áp kế có lợi khi trong bể chứa có áp suất bằng áp suất khí quyển. Trường hợp ngược lại, số chỉ của áp kế là tổng của áp suất thủy tĩnh và áp suất dư.

Để đo mức trong các thiết bị công nghệ chịu áp suất người ta thường dùng áp kế vi sai. Với áp kế vi sai, ta có thể đo mức chất lỏng trong các bể hở, mức phân cách các pha và mức chất lỏng.

Đo mức trong các bể hở thực hiện theo sơ đồ (hình 9.12c). Áp kế vi sai (1) được nối qua các ống dẫn (2) nối với bể chứa và bình so sánh (3). Bình cân bằng dùng để bù áp suất tĩnh tạo ra do cột chất lỏng h_1 trong ống dẫn. Trong quá trình đo, mức chất lỏng trong bình cân bằng cần giữ không đổi. Van số (4) dùng để duy trì mức không đổi trong bình (3). Khi trọng lượng riêng không đổi, với điều kiện $h_1 = h_2$ thì độ giảm áp suất đo được bằng áp kế vi sai là :

$$\Delta P = \rho_L \cdot g \cdot h \quad (9.38)$$

Khi đo mức trong các thiết bị chịu áp suất, người ta sử dụng sơ đồ hình 9.12d. Bình cân bằng (3) trong trường hợp này đặt trên cao tương ứng với mức lớn nhất và nối vào thiết bị. Áp suất tĩnh P trong thiết bị đưa vào cả hai ống, do đó độ giảm áp suất ΔP có thể biểu diễn dưới dạng :

$$\Delta P = \rho_L^* \cdot g \cdot h_{\max} - \rho_L \cdot g \cdot h \quad (9.39)$$

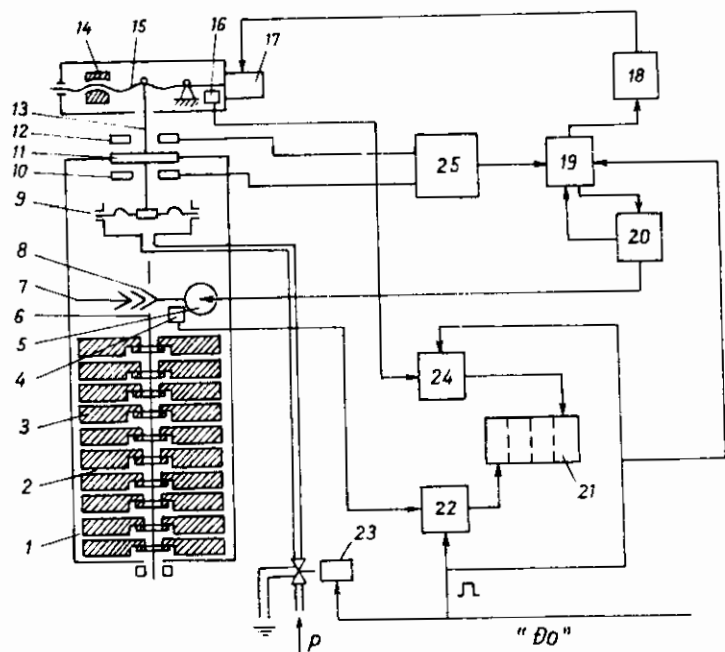
Khi $h = 0$, $\Delta P = \Delta P_{\max}$ còn khi $h = h_{\max}$ thì $\Delta P = 0$. Nếu chất lỏng có tính ăn mòn thì áp kế nối vào bể chứa qua một bình cách ly.

Thiết bị đo mức bằng cách đo áp suất thủy tĩnh thông qua việc đo áp suất khí quyển qua một ống nhúng chìm vào chất lỏng ở một chiều sâu xác định được gọi là áp kế. Sơ đồ của áp kế đo mức chỉ ra trên hình 9.13e. Ống của áp kế (1) đặt trong bể chứa cần đo mức. Khi đưa vào ống qua bộ tiết lưu (2) dùng để hạn chế lưu lượng. Để đo lưu lượng khí, người ta dùng một cốc nhỏ (3) và lưu lượng được đo bằng số bọt khí nổi lên trong một đơn vị thời gian, còn áp suất giữ không đổi bằng bộ ổn định áp suất (4). Áp suất khí sau khi qua bộ tiết lưu được đo bằng áp kế vi sai (5) dùng để đo mức.

Khi truyền không khí, áp suất trong ống áp kế sẽ tăng từ từ cho đến khi mà áp suất chỉ thị bằng áp suất của cột chất lỏng h . Khi đó áp suất trong ống bằng áp suất thủy tĩnh và đầu hở ở dưới ống bắt đầu xuất hiện các bọt khí. Đo mức bằng áp kế cho phép đo mức trong một phạm vi rộng từ một vài chục cm đến 10 - 15 m với sai số qui đổi là $\pm (1 - 1,5)\%$. Ngày nay người ta thường dùng rộng rãi áp kế hiện số, sơ đồ nguyên lý chỉ ra trên hình 9.13.

Áp kế gồm một phần tử thụ cảm biến dạng kiểu màng (9) tâm của nó gắn cứng với điện cực động (11) của bộ chuyển đổi điện dung vi sai dịch chuyển nhỏ. Các điện cực cố định (10), (12) và điện cực động (11) của bộ chuyển đổi điện dung vi sai được mắc theo sơ đồ cầu L - C với chỉ thị dịch chuyển (25). Các đĩa nặng (1) được nối với điện cực động, trên đĩa này có đặt cơ cấu nâng treo gồm một cột các vật nặng (3) dịch chuyển nhờ bạc (2) gắn với cần nâng (6). Cần nâng có khả năng dịch chuyển lên trên hoặc xuống dưới nhờ cơ cấu truyền động (8) nối với trục (7) truyền chuyển động quay của động cơ (5). Trên bộ chuyển đổi đặt cơ cấu con mã gồm đòn bẩy (15) chế tạo dưới dạng vít me có quả đổi trọng (14). Di chuyển đổi trọng (14) nhờ động cơ điện (17). Đo áp suất P được thực hiện bằng tín hiệu "Đo". Tương ứng với tín hiệu này, van (23) nối với phía dưới màng đo. Dưới tác dụng của áp suất P màng (9)

bị biến dạng và điện cực (11) bị lệch khỏi trọng tâm làm cho cầu L - C mất cân bằng. Điện áp không cân bằng sau khi khuếch đại tác dụng lên tầng nhạy pha và làm phân cực của chỉ thị dịch chuyển (25), một dây là vị trí giới hạn, tương ứng với hướng dịch chuyển điện cực. Tín hiệu này qua khóa hai vị trí (19) tác dụng lên khối (20), đóng động cơ (5) sao cho nó quay theo chiều để hạ đĩa cân (1). Việc hạ tiếp tục xảy ra cho đến khi mà tín hiệu của ra của bộ chỉ thị (25) không còn nữa làm đảo chiều quay của động cơ. Khi đảo chiều, các quả cân hạ thấp xuống cùng với đĩa (1).



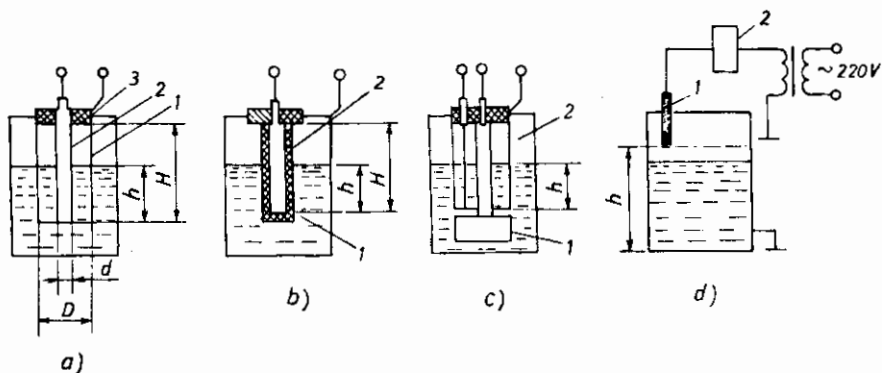
Hình 9.13. Sơ đồ áp kế hiện số.

Chỉ khi quả cân bù cuối cùng hạ xuống với đĩa cân trên đầu ra của bộ chỉ thị (25) lại xuất hiện tín hiệu làm lệch điện cực (11) lên phía trên và khối (20) dừng động cơ lại. Trong quá trình bù trọng lượng (3), ứng lực sinh ra do màng (9) làm quay trục (7) được bộ chuyển đổi (4) biến đổi thành các xung điện truyền qua cổng (22) đến bộ đếm (21). Đồng thời với việc dừng động cơ (5), khối (20) truyền tín hiệu tới cửa thứ hai của cổng (19). Khi đó cửa ra của bộ chỉ thị (25) nối với khối (18) bù liên tục. Sau khi đóng động cơ (17) làm quay vít me (15) làm dịch chuyển đối trọng (14) về phía làm tăng lực bù. Tần số quay vít (15) được biến đổi thành các xung điện đưa tới cổng (24) đến bộ đếm (1). Vít

me sẽ dừng quay khi điện cực trở về vị trí trung hòa và động cơ dừng lại. Với giá trị áp suất đo được, ta suy ra số xung đã đến. Giới hạn đo của áp kế hiện số từ 0 - 10^5 Pa, với sai số qui đổi là $\pm 0,05\%$.

9.9.5. Cảm biến đo mức kiểu điện dung

Trong loại thiết bị đo mức này, người ta sử dụng sự phụ thuộc điện dung của phần tử nhạy cảm của bộ chuyển đổi vào mức chất lỏng. Về mặt cấu tạo, phần tử nhạy cảm điện dung được thực hiện dưới dạng các điện cực hình trụ tròn đặt đồng trục hay các điện cực phẳng đặt song song với nhau. Cấu tạo của các phần tử thụ cảm điện dung được xác định theo tính chất hóa lý của chất lỏng. Đối với chất lỏng cách điện (có điện dẫn suất nhỏ hơn 10^{-6} simen/m), các phần tử chỉ thị có sơ đồ như trên hình 9.14.



Hình 9.14. Cảm biến đo mức chất lỏng cách điện.

Phần tử thụ cảm (hình 9.14a), gồm hai điện cực đồng trục (1) và (2) có phần nhúng chìm vào chất lỏng. Các điện cực tạo thành một tụ điện hình trụ tròn, giữa hai điện cực điện đầy chất lỏng có chiều cao h , còn $H - h$ là không gian chứa hỗn hợp hơi khí. Để cố định vị trí các điện cực, người ta dùng chất cách điện (3). Nói chung, điện dung của một tụ điện hình trụ được xác định bằng phương trình :

$$C = 2\pi\epsilon\epsilon_0 H / \ln(D/d) \quad (9.40)$$

ở đây ϵ : hằng số của điện môi điện đầy giữa hai điện cực.

ϵ_0 : hằng số điện môi của chân không.

H : chiều cao điện cực ;

D, d : đường kính ngoài và trong của điện cực.

Đối với tụ điện hình trụ tròn hình 9.14a có hằng số điện môi khác nhau, điện dung của tụ là :

$$C = C_0 + C_1 + C_2 \quad (9.41)$$

ở đây C_0 : điện dung của cách điện xuyên qua nắp.

C_1 : điện dung giữa hai điện cực có chứa chất lỏng.

C_2 : điện dung của không gian có chứa hơi và khí.

Nếu tính giá trị của C theo (9.41) thì :

$$C = C_0 + \frac{2\pi \cdot \epsilon_0 \cdot \epsilon_l \cdot h}{\ln(D/d)} + \frac{2\pi \cdot \epsilon_0 \epsilon_r (H - h)}{\ln(D/d)} \quad (9.42)$$

vì rằng đối với hơi và khí $\epsilon_r = 1$, còn $C_0 =$ hằng số nên

$$C = C_0 + \frac{2\pi \cdot \epsilon_0}{\ln(D/d)} H \left[1 + (\epsilon_l - 1) \cdot \frac{h}{H} \right] \quad (9.43)$$

Phương trình (9.42) là đặc tính tĩnh của phần tử nhạy điện dung đối với môi trường cách điện. Giá trị ϵ_l phụ thuộc vào nhiệt độ, do vậy để loại trừ ảnh hưởng nhiệt độ của chất lỏng lên kết quả đo, người ta dùng một tụ bù (hình 9.14,c). Tụ bù (1) đặt dưới phần tử thụ cảm (2) và nhúng chìm hoàn toàn trong chất lỏng. Ở một số trường hợp, khi thành phần chất lỏng không đổi, người ta thay nó bằng một tụ cố định. Để đo mức các chất lỏng dẫn điện (có điện dẫn suất lớn hơn 10^{-4} *simen/m*) người ta sử dụng phần tử thụ cảm có cách điện ở ngoài (hình 9.34b) phần tử nhạy cảm là các điện cực kim loại, có phủ lớp cách điện (2) và nhúng chìm vào chất lỏng. Còn điện cực thứ hai là thành bể chứa (nếu là kim loại) hay là điện cực riêng. Điện dung toàn phần của phần tử nhạy cảm (hình 9.14,c) được tính bằng :

$$C = C_0 + \frac{C_1 C_2}{C_1 + C_2} \quad (9.44)$$

ở đây C_0 : điện dung của cách điện xuyên qua nắp.

C_1 : điện dung giữa điện cực 1 và bể mặt chất lỏng trên giới hạn có cách điện.

C_2 : điện dung của tụ điện tạo bởi mặt chất lỏng trên mặt giới hạn cách điện và thành bể.

Thiết bị chuyển đổi phần tử thụ cảm điện dung thành tín hiệu điện là cầu đo. Cấp chính xác của dụng cụ đo mức là 0,5 ; 1,0 ; 2,5.

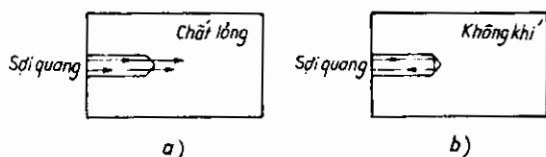
9.9.6. Cảm biến đo mức bằng phương pháp quang

Để đo mức chất lỏng có thể sử dụng nhiều phương pháp khác nhau. Các cảm biến mức kinh điển thường sử dụng nguyên lý phản xạ toàn phần.

- Khi đặt một lăng kính rất nhỏ gắn một sợi quang ta thực hiện được một bộ phát hiện mức chất lỏng hoạt động theo nguyên lý phản xạ toàn phần bên trong sợi quang (hình 9.15, a), còn cấu tạo của cảm biến được cho trên hình 9.16.

- Đầu đo mức Plessey có khả năng phát hiện nước hoặc hydrocacbua bằng cách phân tích độ hấp thụ của chất lỏng đối với ánh sáng do LED phát ra. Nước hấp thụ mạnh tia hồng ngoại $0,98 \mu\text{m}$ trong khi đó trong hydrocacbua có đỉnh hấp thụ vào khoảng $0,92 \mu\text{m}$.

Máy phân tích phổ được sử dụng để phân biệt các hệ số hấp thụ này.



Hình 9.15. Đầu hình nón sợi quang phát hiện mức chất lỏng.

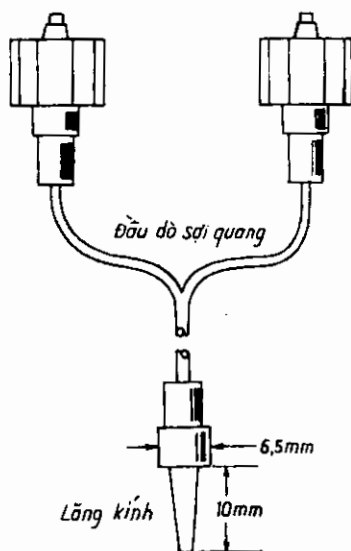
- Một kỹ thuật khác là một dẫn xuất của rada quang trong đó pha của một sóng điều biên được so sánh sau khi phản xạ trên một đích ở xa ví dụ trên bề mặt chất lỏng đối với pha ban đầu.

Tầm của dụng cụ đo mức là từ $0,1$ đến 5 m , độ chính xác khoảng $0,001 \text{ m}$. Sợi quang ở đây chỉ đóng vai trò dẫn ánh sáng. Sự lệch pha $\Delta\Phi$ do truyền tia sáng bước sóng λ có biểu thức :

$$\Delta\Phi = 2\pi L/\lambda \quad (9.45)$$

So sánh các tín hiệu trên các bộ phát hiện cho ta góc lệch pha giữa chùm tia của đối tượng và tia chuẩn.

Các kỹ thuật đã trình bày ở trên có thể sử dụng để đo nồng độ khí. Ví dụ các nhà nghiên cứu Nhật ở trường đại học Tohoku đã phát hiện propan dưới áp suất riêng phần $2,4 \text{ torr}$ bằng cách phân tích sự hấp thụ của ánh sáng phát bằng diốt InGaPb có bước sóng $1,68 \mu\text{m}$, sử dụng sợi quang đường kính lõi $50 \mu\text{m}$, vỏ $125 \mu\text{m}$ bằng Si có chiết suất nhảy bậc dài 5 km , suy hao



Hình 9.16. Đầu đo sợi quang đo mức.

1dB/km phát hiện nồng độ mêtan bằng cách phân tích sự hấp thụ ở bước sóng 1,33 μm và 1,66 μm . Dụng cụ này dùng để phát hiện từ xa trong các môi trường độc hại dễ cháy nổ, những nơi khó tiếp cận như lò phản ứng nguyên tử.

9.10. ĐO TÍNH CHẤT HÓA LÝ CỦA CHẤT LỎNG VÀ KHÍ

Lý tính và hóa tính của chất lỏng và khí có thể được kiểm tra tự động trong công nghệ hóa là : khối lượng riêng, độ nhớt, hệ số khúc xạ, áp suất hơi quá bão hòa và nhiệt trị của nhiên liệu.

9.10.1. Dụng cụ đo khối lượng riêng chất lỏng và khí

+ Khối lượng riêng ρ của một chất là một đại lượng vật lý xác định bằng tỷ số giữa khối lượng m với thể tích V của nó :

$$\rho = m/V \text{ (đơn vị khối lượng/đơn vị thể tích)} \quad (9.46)$$

+ Trọng lượng riêng γ của một chất là đại lượng vật lý xác định bằng tỷ số giữa trọng lượng G của chất với thể tích của nó.

$$\gamma = G/V \text{ (đơn vị lực/đơn vị thể tích)}$$

Giữa trọng lượng riêng và khối lượng riêng có quan hệ :

$$\gamma = \rho \cdot g = mg/V \quad (9.47)$$

g : gia tốc rơi tự do.

Khối lượng riêng phụ thuộc vào vị trí trên mặt đất, còn trọng lượng riêng phụ thuộc vào vị trí. Trong một số trường hợp người ta dùng khái niệm : khối lượng riêng tương đối được xác định bằng tỷ số giữa khối lượng riêng của chất đã cho với khối lượng riêng của một chất khác trong điều kiện vật lý xác định.

+ Khối lượng riêng tương đối của chất lỏng là tỷ số giữa khối lượng riêng của nó ở nhiệt độ (20°C) với khối lượng riêng của nước cất ở 4°C. Ký hiệu là ρ_5^{20} .

+ Khối lượng riêng tương đối của khí là tỷ số giữa khối lượng riêng của nó so với khối lượng riêng không khí khô ở điều kiện chuẩn (nhiệt độ : -273,15 K, áp suất chuẩn 101325 Pa = 760 mm thủy ngân).

Khối lượng riêng của chất lỏng và khí giảm khi nhiệt độ khi tăng. Khối lượng riêng của chất khí tăng khi áp suất tăng, còn khối lượng riêng chất lỏng thực tế không phụ thuộc vào áp suất. Dụng cụ đo khối lượng riêng gọi là tỷ trọng kế. Hiện nay có nhiều loại tỷ trọng kế, trước hết chúng ta nghiên cứu tỷ trọng kế được sử dụng rộng rãi để đo tự động khối lượng riêng của chất lỏng và khí.

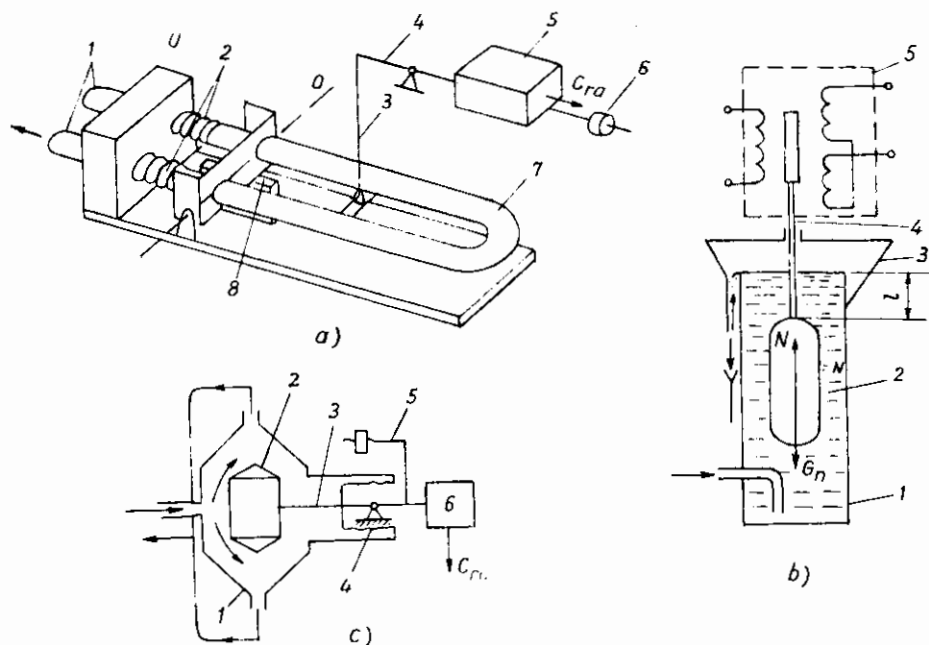
1. Tỷ trọng kế kiểu cân

Nguyên lý hoạt động của tỷ trọng kế này xác định khối lượng riêng của chất lỏng liên tục với thể tích không đổi trong bình chứa hay trong ống dẫn qua việc xác định trọng lượng riêng.

Tỷ trọng kế thông dụng nhất có sơ đồ trên hình 9.17,a. Cảm biến là một ống dẫn chữ U (7) được chế tạo bằng thép không gỉ nối với cân (3) và tay đòn (4). Các đầu cố định của ống (7) nối với xiphông (2) và ống dẫn cố định (1).

Nhờ có ống xiphông (2) mà ống (7) có thể quay quanh trục OO' . Khi khối lượng riêng chất lỏng tăng làm tăng khối lượng của ống chữ U qua cánh tay đòn (4) truyền tới bộ biến đổi cơ - điện hay cơ - khí nén (5). Tín hiệu ra của bộ biến đổi C_{ra} tỷ lệ với sự thay đổi khối lượng riêng của chất lỏng được phân tích. Đối trọng gắn trên tay đòn (4) dùng để cân bằng mômen tạo ra do ống chứa chất lỏng (7). Thiết bị số (8) dùng để tự động điều chỉnh tín hiệu tỷ trọng phụ thuộc vào nhiệt độ chất lỏng phân tích.

Tỷ trọng kế này dùng để đo khối lượng riêng chất lỏng nằm trong giới hạn từ $0,5 - 2,5 \text{ g/cm}^3$. Nhiệt độ lớn nhất của chất lỏng đo là 100°C . Cấp chính xác 1; 1,5.



Hình 9.17. Sơ đồ nguyên lý tỷ trọng kế thông dụng.

2. Tỷ trọng kế kiểu phao

Nguyên lý làm việc dựa trên cơ sở đo liên tục sức đẩy tác dụng lên phao nhúng chìm một phần hay toàn bộ trong chất lỏng (hình 9.17b).

Phao số (2) được nhúng chìm trong chất lỏng chảy liên tục qua bình chứa (1). Nhờ có miệng tràn mà mức chất lỏng trong bình được giữ không đổi.

Chất lỏng cần đo được miệng tràn tách ra khỏi tỷ trọng kế qua bình nhỏ (3). Khi tỷ trọng chất lỏng thay đổi làm thay đổi mức nhúng chìm của phao trong bình (1) cho đến khi có sự cân bằng giữa trọng lượng G_n và sức đẩy N , làm thay đổi chiều dài nhúng chìm (1) của thanh (4) trong chất lỏng. Sự dịch chuyển của phao (2) được chuyển đổi thành tín hiệu điện nhờ máy biến áp vi sai (5). Trọng lượng G_n của phao có kể đến cả thanh (4) và lực đẩy tác dụng lên phao được tính theo công thức :

$$G_n = m.g$$

$$N = (V + l.S).\rho.g \quad (9.48)$$

ở đây m : khối lượng của phao và thanh truyền động.

V : thể tích của phao; l : chiều dài phần thanh dẫn chìm trong chất lỏng; S : diện tích ngang của thanh dẫn khi cân bằng giữa G_n và N có kể đến sức căng bề mặt do tác dụng của thanh dẫn lên bề mặt phân cách :

$$l = (m - V.\rho + A)/(S.\rho) \quad (9.49)$$

ở đây A : hằng số kể đến sức căng bề mặt chất lỏng từ (9.49) ta thấy : chiều dài hay tín hiệu điện của máy biến áp vi sai (5) có liên hệ một cách đơn trị với khối lượng riêng của chất lỏng. Khối lượng riêng m được chọn tùy thuộc vào phạm vi đo.

Cấu tạo của tỷ trọng kế kiểu phao nhúng chìm có nhiều loại khác nhau. Chúng có độ nhạy cao, có thể đo tỷ trọng trong phạm vi hẹp (0,005 - 0,01 g/cm³ ; với sai số $\pm (1,5 - 3)\%$).

3. Tỷ trọng kế thủy - khí tĩnh

Nguyên lý hoạt động của tỷ trọng kế này dựa trên cơ sở sự phụ thuộc áp suất P của cột chất lỏng phân tích vào trọng lượng riêng của chất lỏng :

$$P = \rho.g.H \quad (9.50)$$

ở đây H là chiều cao cột chất lỏng hay khí. Nếu chiều cao H không đổi, thì áp suất P phụ thuộc một cách đơn trị vào trọng lượng riêng của môi trường $P = k.\rho$, với $k = g.H = \text{const.}$

Hình 9.18,a là sơ đồ tỷ trọng kế thủy tĩnh. Trong thiết bị này chất lỏng cần phân tích chảy liên tục qua bình (1), trên giá đỡ phẳng (9) đặt các xiphông do (2) và (4). Khoảng cách giữa hai xiphông bằng chiều cao H , do đó trên xiphông (2) áp suất thủy tĩnh lớn hơn trên xiphông (4). Xiphông chỉ thị và xiphông (3) dẫn đầy chất lỏng phụ. Xiphông (3) dùng để bù nhiệt độ, thực chất là một nhiệt áp kế lỏng.

Sự khác nhau của ứng suất trên xiphông (2) và (4) là do sự chênh lệch áp suất thủy tĩnh trên chúng tạo ra mômen quay trên cánh tay đòn (8) truyền qua cánh tay đòn (7) tới bộ biến đổi (5). Màng (6) bảo đảm khít chặt đầu ra của cánh tay đòn (7).

Các đặc tính kỹ thuật chủ yếu của tỷ trọng kế thủy tĩnh :

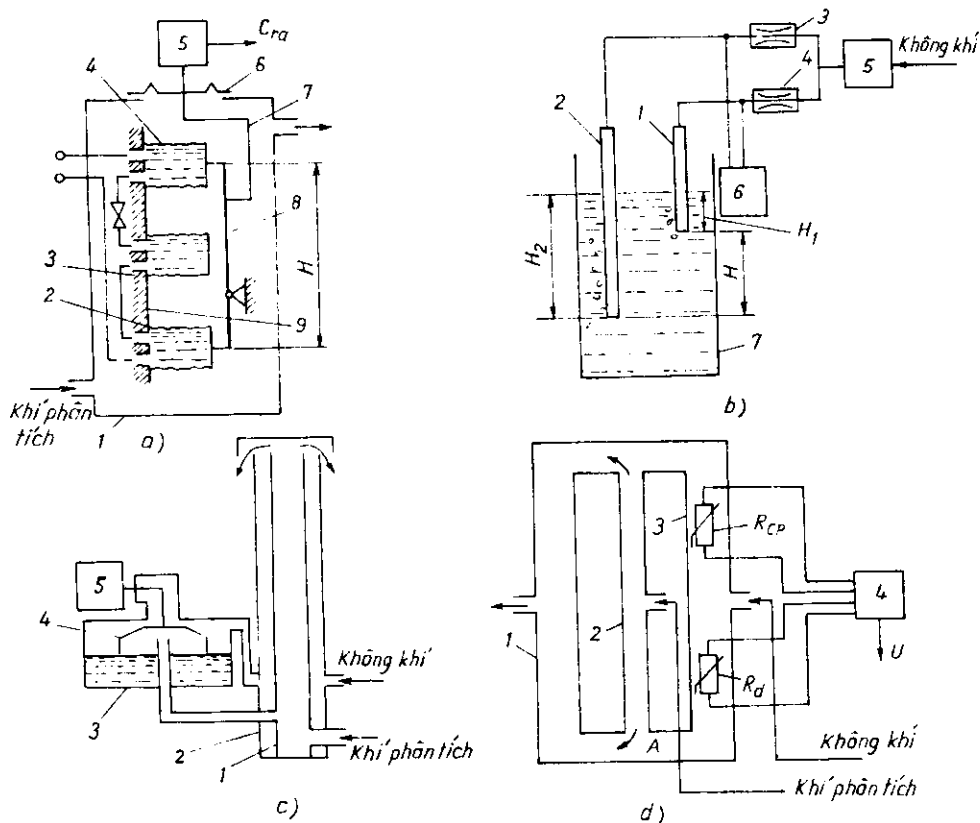
Khoảng đo từ 0 - 0,05 đến 0,5 g/cm^3 . Nhiệt độ cực đại của chất lỏng 200°C, cấp chính xác 1. Sơ đồ của tỷ trọng kế thủy tĩnh trên cơ sở đo áp suất thủy tĩnh bằng cách thổi khí nén đưa ra trên hình 9.18,b. Tỷ trọng kế này được dùng trong quá trình công nghệ hóa để đo tỷ trọng trực tiếp trong các thiết bị công nghệ.

Người ta đặt hai ống (1) và (2) có chiều sâu nhúng chìm khác nhau vào bình chứa (7). Khí hoặc không khí được đưa từ bộ điều chỉnh lưu lượng (5) tới bộ tiết lưu khí ép (3) và (4) sau đó tới ống (2) và (1). Qua đầu hở của ống, khí sủi bọt qua chất lỏng. Áp suất của khí trong ống (1) và (2) xác định áp suất thủy tĩnh của cột chất lỏng có chiều cao là H_1 và H_2 . Hiệu số áp suất trong ống được đo bằng áp kế vi sai (6) có tín hiệu ra là tín hiệu điện hay khí nén. Độ giảm áp suất được xác định bằng biểu thức :

$$\Delta P = P_2 - P_1 = \rho g (H_2 - H_1) = \rho g.H , \quad (9.51)$$

Do có hai ống nên loại trừ được ảnh hưởng lên kết quả đo khi mức chất lỏng trong bình thay đổi. Sơ đồ tỷ trọng kế khí tĩnh và trên hình 9.18,c. Ở đây khí phân tích và không khí có áp suất không đổi đưa qua ống (1) và (2), mặt trong của các ống tạo thành các cột chứa khí phân tích và không khí có chiều cao như nhau. Hiệu số áp suất khí tĩnh của các cột này được đo bằng áp kế vi sai kiểu chuồng có độ nhạy cao (3) làm việc theo nguyên tắc cân bằng nhờ sự thay đổi lực nâng. Sự dịch chuyển của chuồng (4) được biến đổi thành điện nhờ bộ biến đổi (5). Tỷ trọng kế có thể đo trọng lượng riêng từ 0 đến 3 kg/m^3 với sai số $\pm 0,012 kg/m^3$.

Một trong những tỷ trọng kế hoàn thiện hơn là tỷ trọng kế kết hợp hiệu ứng cơ - nhiệt (hình 9.18d). Khi phân tích có lưu lượng thể tích



Hình 9.18. Sơ đồ tỷ trọng kế thủy tĩnh và khí tĩnh.

không đổi đưa vào ống (2), còn trong ống (3) đưa khí phụ trợ có áp suất không đổi (thường là không khí). Dòng khí thoát ra do ống (1). Các ống 1,2,3, đặt thẳng đứng. Khi tỷ trọng khí phân tích thay đổi, sẽ làm thay đổi áp suất tĩnh của cột khí trong ống (2) hay áp suất ở điểm A. Do đó làm thay đổi lưu lượng không khí bao quanh điện trở của phong tốc kế nhiệt R_d làm thay đổi điện trở của nó. Còn điện trở so sánh R_{ss} vẫn không đổi vì dòng không khí qua nó thực tế không thay đổi. Sự thay đổi điện trở R_d tạo ra điện áp không cân bằng U trên cân đo (5). Điện áp này được tính bằng biểu thức :

$$U = K(\rho - \rho_K) \quad (9.52)$$

K : hệ số biến đổi tỷ trọng ; ρ_K : tỷ trọng không khí.

Tỷ trọng kế này đo được trọng lượng riêng giới hạn từ $0 - 3 \text{ kg/m}^3$ ở nhiệt độ 40 hay 45°C với sai số $\pm (0,01 - 1,5) \text{ kg/m}^3$ và cấp chính xác $2 - 5$.

9.10.2. Dụng cụ đo độ nhớt chất lỏng

Độ nhớt hay còn gọi là ma sát nội là tính chất của dòng chảy có chú ý đến sức cản của phần tử này với phần tử khác. Quy luật cơ bản của dòng chảy nhớt được mô tả bằng công thức Newton :

$$F = \eta S \frac{dW}{dn} \quad (9.53)$$

ở đây F : lực tiếp tuyến gây ra bởi sự trượt giữa các lớp chất lỏng (hay khí) với nhau.

S : diện tích lớp sinh ra trượt.

dW/dn : gradien tốc độ W của dòng chảy theo pháp tuyến n .

η : hệ số tỷ lệ độ nhớt động lực học. Nó đặc trưng cho sức cản của chất lỏng (khí) dịch chuyển theo lớp của nó. Giá trị nghịch đảo của η : $\varphi = 1/\eta$ được gọi là độ thoát.

Độ nhớt động được định nghĩa bằng biểu thức

$$\nu = \eta/\rho \quad (9.54)$$

Đơn vị đo của độ nhớt động trong hệ đơn vị SI là m^2/s , $1stoc = 10^{-4} cm^2/s$.

Đơn vị đo của độ nhớt động lực học là Pa.S $1 Poazo = 10^{-1} P.s$.

Độ nhớt của chất lỏng tăng khi nhiệt độ giảm, còn đối với khí thì độ nhớt tăng khi nhiệt độ tăng. Độ nhớt động lực đến áp suất 20 MPa không phụ thuộc vào áp suất.

Dụng cụ để đo độ nhớt gọi là nhớt kế. Hiện nay người ta sử dụng nhiều loại nhớt kế như : nhớt kế mao dẫn, nhớt kế kiểu quay, kiểu rung v.v... Dưới đây chúng ta chỉ xem xét các nhớt kế thường dùng nhất trong công nghệ hóa lọc dầu.

1. Nhớt kế mao dẫn

Nguyên lý hoạt động của nhớt kế này dựa trên cơ sở của quy luật thoát chất lỏng qua ống mao dẫn mô tả bằng định luật Puazeil :

$$Q = \frac{\pi d^2}{128\eta l} (P_1 - P_2) \quad (9.55)$$

ở đây Q : lưu lượng thể tích của chất lỏng.

d, l : đường kính trong và chiều dài ống mao dẫn.

P_1, P_2 : áp suất phía trước và sau ống mao dẫn theo dòng chảy.

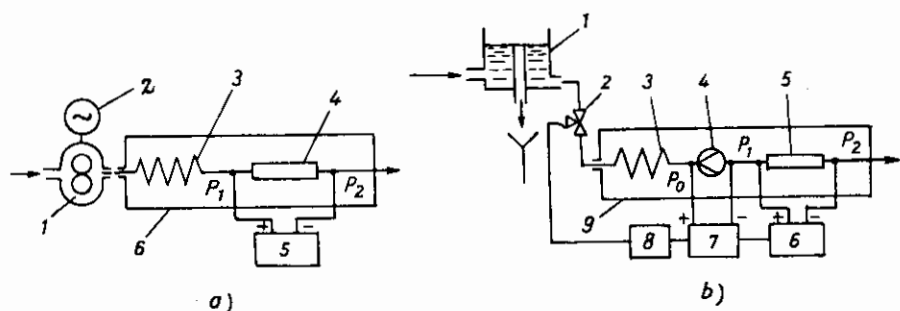
Khi lưu lượng thể tích không đổi, ta có :

$$P_1 - P_2 = k \cdot \eta \quad (9.56)$$

ở đây $k = 128 lQ/(\pi d^2)$ là hằng số đối với một lưu lượng chất lỏng đã cho.

Từ công thức trên ta thấy để đo độ nhớt động lực khi lưu lượng thể tích chất lỏng không đổi, ta chỉ cần đo độ giảm áp suất trên ống mao dẫn.

Hình 9.19,a đưa ra sơ đồ nhớt kế mao dẫn. Để tạo lưu lượng không đổi, người ta dùng bơm bánh răng (1) được truyền động bằng động cơ đồng bộ (2). Chất lỏng cần đo độ nhớt qua bơm được đưa đến ống xoắn (3) và được sấy nóng đến nhiệt độ của dầu điện chảy trong thiết bị điều nhiệt (6), rồi đưa qua ống mao dẫn (4). Kích thước của ống mao dẫn được chọn theo khoảng đo độ nhớt. Độ giảm áp suất trên ống mao dẫn được đo bằng áp kế vi sai (5). Tín hiệu lấy ra (khí nén hay điện) tỷ lệ với độ nhớt động lực của chất lỏng cần phân tích. Nhiệt độ trong bình điều áp được giữ không đổi ở 50°C hay 100°C . Phạm vi đo từ $(0 - 20) \cdot 10^{-3} \text{ Pa.S}$ đến $(0 - 1000) \cdot 10^{-3} \text{ Pa.S}$.



Hình 9.19. Sơ đồ nhớt kế mao dẫn.

Cấp chính xác của nhớt kế bằng 1,5 - 2,5 tùy thuộc phạm vi đo. Trên hình 9.19b là sơ đồ của nhớt kế mao dẫn có ổn định lưu lượng của chất lỏng bằng hệ thống TĐĐC dùng khí nén. Nó gồm một màng ngăn (4), áp kế vi sai (7), thiết bị điều chỉnh khí nén (8) và cơ cấu chấp hành (2). Chất lỏng cần đo được đưa vào bình chứa (1). Khả năng ổn định lưu lượng chất lỏng dựa trên cơ sở độ giảm áp suất trên màng chắn ($P_0 - P_1$) thực tế không phụ thuộc vào độ nhớt động lực, còn tỷ trọng chất lỏng (ví dụ dầu maxel) thay đổi không đáng kể. Do duy trì được độ giảm áp suất không đổi ($P_0 - P_1$) bảo đảm lưu lượng thể tích chất lỏng không đổi. Ống xoắn (3), màng ngăn cách (4) và ống mao dẫn (5),

đặt ở cửa vào của bình điều áp (9) duy trì ở nhiệt độ 100°C bằng cách truyền qua nó một lượng hơi nước bão hòa với áp suất khí quyển. Độ giảm áp suất ($P_1 - P_2$) trên ống mao dẫn đo bằng manomet vi sai (6) có tín hiệu ra là khí nén.

2. Nhớt kế trọng lực

Nguyên lý hoạt động của nhớt kế dựa trên cơ sở đo tốc độ rơi của các viên bi trong chất lỏng cần đo. Chuyển động này được biểu diễn bởi qui luật Stock :

$$W = \frac{2}{9} \cdot \frac{g(\rho_m - \rho)r^2}{\eta} \quad (9.57)$$

ở đây W : tốc độ rơi đều của viên bi.

ρ_m : khối lượng riêng của vật liệu làm viên bi.

ρ : khối lượng riêng của chất lỏng.

r : bán kính viên bi.

Nếu ta xem khối lượng riêng của chất lỏng thay đổi không đáng kể và nhỏ hơn nhiều lần so với khối lượng riêng của viên bi, thì biểu thức (9.57) có thể viết dưới dạng

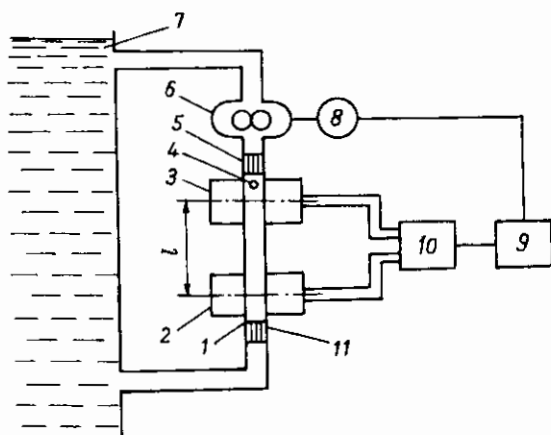
$$W = k_1/\eta, \text{ với } k_1 = \frac{2}{9} g (\rho_m - \rho) r^2 \text{ là một hằng số} \quad (9.58)$$

Do tốc độ W được thực hiện bằng cách đo thời gian rơi τ của viên bi với tốc độ không đổi trên khoảng cách l xác định trước. Khi đó :

$$\tau = l/W = l\eta/k_1 = k\eta \quad (9.59)$$

với $k = l/k_1 = \text{const.}$

Hình 9.20 vẽ sơ đồ của nhớt kế trọng lực. Chất lỏng từ bình chứa (7) chảy qua bơm (6) theo ống dẫn (1) làm bằng vật liệu không từ tính dưới lên trên đẩy viên bi (4) từ dưới vị trí (11) lên trên (vị trí số 5). Khi cắt động cơ bơm (8), động cơ đóng cắt theo chu kỳ được điều khiển bằng bộ điều khiển (9). Viên bi rơi



Hình 9.20. Sơ đồ nhớt kế trọng lực.

trong chất lỏng, nhờ có máy biến áp vi sai (3) và (2) mà mỗi khi viên bi đi qua tạo ra các xung điện để đóng, mở bộ đếm thời gian (10) đo thời gian τ tương ứng với chiều cao l của ống dẫn. Từ đó ta xác định được độ nhớt động lực của chất lỏng.

3. Nhớt kế quay

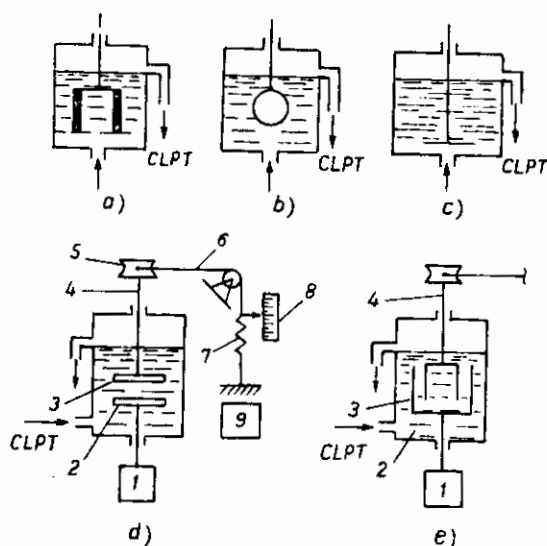
Nguyên lý hoạt động của nhớt kế quay dựa trên cơ sở mômen xoắn xuất hiện trên trục quay của một hình trụ tròn hay đĩa được nhúng chìm trong chất lỏng khi có sự dịch chuyển tương đối giữa chúng. Mômen xoắn trong trường hợp chung biểu diễn bằng công thức :

$$M = k\omega\eta \quad (9.60)$$

ở đây : k : hằng số phụ thuộc vào cấu tạo của phần quay.

ω : tốc độ góc, khi tốc độ góc không đổi thì mômen xoắn phụ thuộc đơn trị vào độ nhớt.

Trên hình 9.21 là các loại cấu trúc khác nhau của nhớt kế kiểu quay. Nhớt kế trình bày từ hình 9.21a đến 9.21c dùng để xác định độ nhớt bằng mômen ma sát xuất hiện khi quay vật nhúng chìm trong chất lỏng. Các vật này có thể có dạng hình trụ (hình 9.21a), hình cầu (9.21b) hoặc các đĩa có khoảng cách cố định gắn trên một trục quay.



Hình 9.21. Sơ đồ nhớt kế kiểu quay.

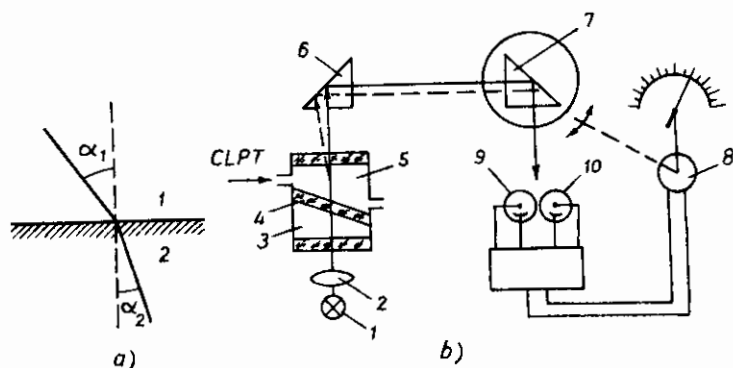
Trong nhớt kế, mômen quay được tạo ra bằng đĩa hay hình trụ (2) (hình 9.21,c,d) được truyền qua chất lỏng tới đĩa hay hình trụ (3). Đĩa hay hình trụ được truyền động bằng động cơ đồng bộ (1). Mômen quay

xuất hiện trên đĩa (3) hay trên ròng rọc (5) gắn trên trục (4) tỷ lệ với độ nhót động lực. Mômen này được cân bằng với lực biến dạng đàn hồi của lò xo (7) nối qua dây mềm (6) gắn với kim chỉ thị. Giá trị biến dạng của lò xo có thể quan sát trên thang đo (8). Nhờ cơ bộ biến đổi (9) mà lực biến dạng đàn hồi của lò xo (7) chuyển đổi thành tín hiệu điện hay khí nén.

Đặc điểm của nhót kế quay là có phạm vi đo rộng (từ 0,01 - 1000 Pa.S). Cấp chính xác của nhót kế quay : 1 - 2,5.

9.10.3. Đo chỉ số khúc xạ của chất lỏng

Chỉ số khúc xạ hay hệ số khúc xạ được đo bằng giao thoa kế hay khúc xạ kế. Để đo tự động thường người ta dùng khúc xạ kế. Nguyên lý hoạt động của chúng dựa trên định luật khúc xạ ánh sáng. Khi có một tia sáng đập vào một mặt phân cách giữa môi trường (1) và (2), thì một phần phản xạ lại môi trường (1), còn một phần đi qua môi trường (2) và đổi hướng (hình 9.22,a).



Hình 9.22. Sơ đồ khúc xạ kế.

Biểu thức toán học mô tả định luật khúc xạ ánh sáng phụ thuộc vào :

$$\sin \alpha_1 / \sin \alpha_2 = n_{12} \quad (9.61)$$

ở đây α_1 và α_2 là góc tới và góc khúc xạ của tia sáng.

n_{12} : hệ số khúc xạ tương đối của môi trường (2) đối với môi trường (1).

Theo lý thuyết sóng ánh sáng, hệ số khúc xạ được xác định bằng tỷ lệ tốc độ truyền sóng trong hai môi trường : $n_{12} = W_1/W_2$.

Môi trường cho ánh sáng truyền qua với tốc độ lớn gọi là môi trường có mật độ quang học nhỏ, còn môi trường cho ánh sáng truyền qua với tốc độ nhỏ gọi là môi trường có mật độ quang học lớn. Hệ số khúc xạ của chất lỏng thực tế không phụ thuộc vào áp suất, còn sự thay đổi của nó theo nhiệt độ nói chung nằm trong giới hạn từ 0 - 0,006 (1/độ). Đối với nhiều trường hợp quan trọng thực tế hệ số khúc xạ của chất lỏng có thể xem như một tính chất hóa - lý.

Trên hình 9.22,b là sơ đồ của một khúc xạ kế. Ánh sáng từ đèn (1) chiếu qua hệ thống quang học (2) gửi qua rãnh (1) chiếu qua rãnh vi sai (4) gồm hai phần tách biệt với nhau bằng màng ngăn thủy tinh. Qua buồng đo số (5), chất lỏng chảy liên tục qua rãnh. Còn buồng so sánh (3) chứa chất lỏng mẫu. Khi hệ số khúc xạ của các chất lỏng này bằng nhau thì tia sáng phát từ đèn (1) đi qua cả hai buồng không bị lệch.

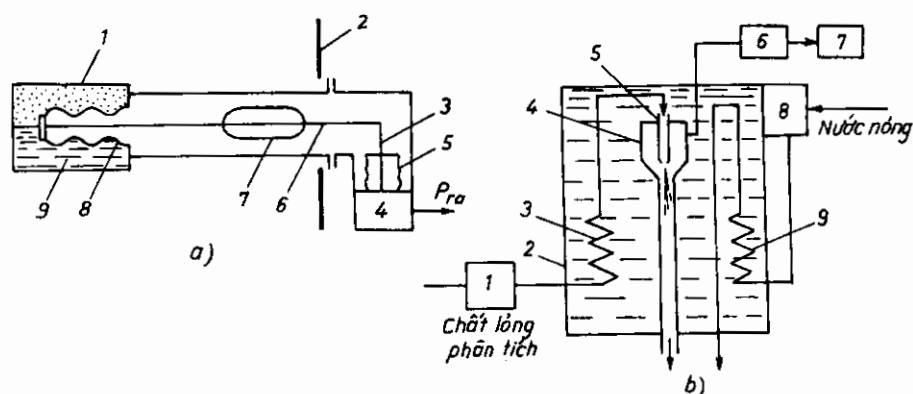
Sự thay đổi hệ số khúc xạ của chất lỏng phân tích làm cho tia sáng bị lệch đi tỷ lệ với hiệu số của hệ số khúc xạ của chất lỏng phân tích và chất lỏng mẫu. Tia sáng từ rãnh đập vào lăng kính cố định (6) và lăng kính động (7). Tế bào quang điện (9) và (10) được nối ngược nhau tạo thành một bộ thu ánh sáng vi sai, khi tia sáng không bị lệch, tín hiệu ra trên bộ khuếch đại bằng không. Còn khi tia sáng bị lệch, độ chói sẽ khác nhau tác dụng lên tế bào quang điện (9) và (10). Tín hiệu ở cửa ra bộ khuếch đại (11) sẽ khác 0. Tín hiệu này được khuếch đại và điều khiển động cơ có đổi chiều quay (8), truyền động qua cơ cấu truyền để hiệu chỉnh lăng kính (7) cho đến khi độ chói trên hai tế bào quang điện (9) và (10) như nhau. Vị trí roto của động cơ (8) được nối với kim chỉ thị gắn với thang đo, xác định hiệu số của hệ số khúc xạ của chất lỏng phân tích và chất lỏng mẫu. Khúc xạ kế thường có trang bị cơ cấu hiệu chỉnh theo nhiệt độ của môi trường phân tích. Độ sai lệch hệ số khúc xạ giữa chất lỏng cần đo và mẫu từ $(0 - 0,02)10^{-2}$ đến $(0 - 10)10^{-2}$. Cấp chính xác bằng 1,5 - 5.

9.10.4. Đo áp suất hơi bão hòa của chất lỏng

Áp suất hơi bão hòa là một trong những chỉ số quan trọng của chất lượng sản phẩm dầu tinh khiết, nhất là của xăng dùng cho các động cơ ô tô và máy bay. Áp suất hơi bão hòa được đặc trưng bằng độ bốc, khuynh hướng tạo thành sương mù được dùng đánh giá đặc tính sạch của chất lỏng có nhiều thành phần các chất. Áp suất hơi bão hòa phụ thuộc vào nhiệt độ. Trên hình 9.23a là sơ đồ của bộ cảm biến hơi bão hòa của chất lỏng có thể đặt trực tiếp trong thiết bị công nghệ. Theo nguyên lý tác dụng, phần tử thụ cảm là dụng cụ đo kiểu cơ học. Nó gồm một xiphông

(8) đặt trong vỏ (1) làm bằng đồng lá. Không gian giữa vỏ và xiphông (8) chứa chất lỏng mẫu (9).

Chất lỏng này có thành phần giống chất lỏng cần phân tích (hình 9.2.).



Hình 9.23. Sơ đồ thiết bị đo áp suất hơi bão hòa.

Khi đặt bộ biến đổi trên đĩa kiểm tra của tháp chưng cất (2), xiphông (8) chịu tác dụng đồng thời của áp suất hơi bão hòa trong tháp và áp suất hơi của chất lỏng mẫu. Lực tác dụng lên xiphông (8) là hiệu số của hai áp suất được truyền qua thanh nối (6) và (3) và xiphông bịt kín (5) truyền tới bộ biến đổi lực thành tín hiệu khí nén (4). Tín hiệu này tỷ lệ với hiệu số áp suất hơi bão hòa cần phân tích và chất lỏng mẫu ở nhiệt độ của thiết bị.

Phạm vi đo từ (90 - 1000) đến (0 - 64000) Pa, cấp chính xác 1 và 1,5 với hằng số thời gian là 40 giây phạm vi nhiệt độ làm việc từ 0 - 150°C. Sơ đồ cơ cấu phân tích hơi bão hòa của xăng trên hình 9.23,b. Chất lỏng cần phân tích đưa vào bộ phận chuẩn bị (1) bảo đảm lưu lượng thể tích không đổi qua ống xoắn (3) đặt trong bình điều nhiệt (2) có chứa chất chống đông đặc bằng cách truyền nước nóng qua ống (9). Nhờ bộ điều nhiệt, nhiệt độ duy trì không đổi là 38°C. Chất lỏng cần phân tích được đưa qua vòi phun (5) bằng một bơm. Khi chất lỏng thoát khỏi vòi phun, do có độ nhớt nên tạo thành hơi trong buồng (4), do đó độ chân không của hơi trong buồng (4) lớn hơn hay nhỏ hơn áp suất hơi bão hòa của chất lỏng. Chân không kế có tín hiệu ra là khí do độ chân không trong phòng (4). Tín hiệu này đưa đến bộ biến đổi (7). Phạm vi đo của máy phân tích từ 250 - 650 mm thủy ngân, lưu lượng của chất

lồng cần đo là $800\text{ cm}^3/\text{phút}$. Sai số tuyệt đối là 15 mm thủy ngân .

9.10.5. Đo nhiệt trị cháy của nhiên liệu lỏng và khí

Nhiệt trị cháy là đặc trưng tính sinh nhiệt của nhiên liệu. Nhiệt trị cháy được hiểu là số nhiệt lượng được tách ra khi đốt cháy hoàn toàn một đơn vị thể tích nhiên liệu. Tương ứng người ta phân biệt thành nhiệt trị khối lượng và thể tích. Người ta chia thành nhiệt trị cao và thấp. Nhiệt trị cháy cao là lượng nhiệt tách ra khi đốt cháy một đơn vị thể tích nhiên liệu và làm ngưng tụ hơi nước chứa trong sản phẩm đốt cháy.

Nhiệt trị cháy thấp là nhiệt lượng tách ra khi đốt cháy một đơn vị thể tích nhiên liệu không kể đến năng lượng tách ra khi ngưng tụ hơi nước trong các sản phẩm cháy.

Quan hệ giữa hai đại lượng này :

$$Q^C = Q^{th} + q \quad (9.62)$$

ở đây Q^C : nhiệt trị cháy cao.

Q^{th} : nhiệt trị cháy thấp.

q : nhiệt trị làm ngưng tụ hơi nước tạo ra khi đốt cháy một đơn vị thể tích nhiên liệu.

Dụng cụ đo nhiệt trị cháy gọi là nhiệt lượng kế. Trên hình 9.24,a là sơ đồ nhiệt lượng kế tự động cho phép nhận các thông tin về nhiệt trị cháy cao của nhiên liệu khí sinh ra trong quá trình phản ứng cháy hóa học của khí phân tích. Khí phân tích có thể tích không đổi đưa qua bộ ổn định lưu lượng (5) đưa vào buồng đốt (11). Sản phẩm đã cháy được rửa bằng thành bình của buồng trao đổi nhiệt (8) đặt trong vỏ của nhiệt kế (7) và truyền tất cả năng lượng sinh ra cho nước chung cất chảy liên tục qua bình trao đổi nhiệt.

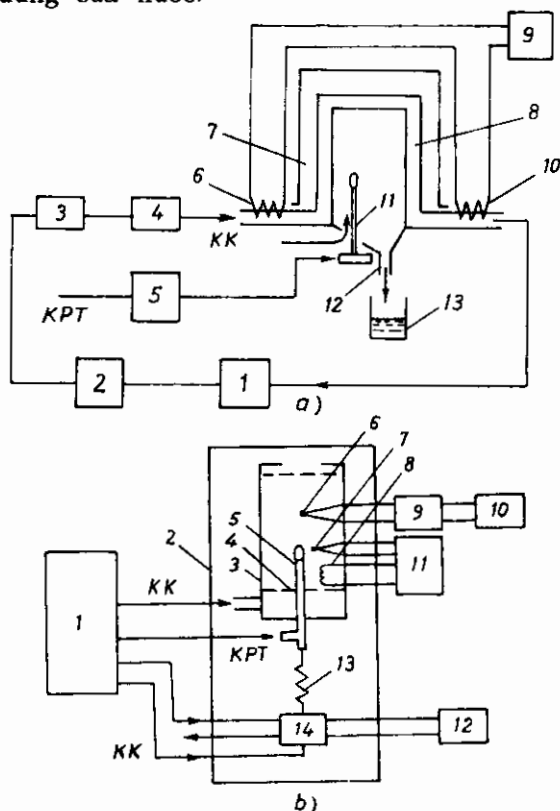
Nước cũng truyền nhiệt năng ra ở thành bình trao đổi nhiệt khi ngưng tụ hơi nước, do quá trình đốt cháy hydrocacbon. Chất ngưng tụ tạo thành được tập trung vào phễu (12) và chảy vào bể chứa (13). Người ta dùng chu trình kín để đưa nước vào buồng trao đổi nhiệt, gồm bể chứa (1), bơm số (2), bình làm lạnh (3) và thiết bị ổn định lưu lượng (4). Ở cửa vào và ra của bình trao đổi nhiệt, người ta đặt các bộ cặp nhiệt ngẫu (6) và (10), (mỗi bộ có 20 cặp nhiệt ngẫu). Các bộ này được đấu theo kiểu vi sai, do đó ta có thể đo được sự chênh lệch nhiệt độ của dòng nước vào và ra. Điện áp U đưa tới điện kế tự động (9) tỷ lệ với hiệu số nhiệt độ Δt , và do đó tỷ lệ với nhiệt trị cháy của khí cần phân tích :

$$U = k(\Delta t) = k \cdot \frac{Q_B \cdot Q_r}{Q_B \cdot C_B} \quad (9.63)$$

k : hệ số biến đổi của bộ biến đổi vi sai.

Q_B, Q_r : lưu lượng thể tích không đổi của nước và khí.

C_B : nhiệt dung của nước.



Hình 9.24. Sơ đồ của một nhiệt lượng kế.

Sau một thời gian từ 1 đến 2 giờ, trong quá trình đó, ta có thể đo được chất ngưng tụ trong bình (13), và xác định giá trị trung bình của nhiệt trị thấy nhờ sử dụng công thức (9.62).

Lưu lượng của khí phân tích từ 0,15 đến 0,5 m³/giờ. Phạm vi đo : 0 - 50.10³ KJ/m³, cấp chính xác 1 ÷ 2.

Chương 10

CẢM BIẾN ÁP SUẤT CHẤT LƯU

10.1. KHÁI NIỆM VỀ ÁP SUẤT

Áp suất là tỷ số giữa lực tác dụng vuông góc lên một mặt với diện tích của nó. Áp suất là một đại lượng cơ bản để xác định trạng thái nhiệt động học của các chất. Sự vận hành của các quá trình công nghệ, tình trạng các thiết bị công nghệ và chế độ vận hành của chúng được xác định bằng áp suất theo nhiều cách khác nhau. Đo áp suất được thực hiện khi đo một vài tham số công nghệ. Ví dụ : Lưu lượng khí hay hơi, khi thay đổi các tham số nhiệt động học, đo mức chất lỏng v.v....

Trong hệ đơn vị quốc tế (SI), đơn vị áp suất là *Pascal* (Pa) : 1 Pa là áp suất tạo bởi một lực 1N phân bố đồng đều trên diện tích 1 m^2 vuông góc với pháp tuyến.

Các dụng cụ đo áp suất được phân loại theo loại áp suất cần đo và nguyên lý tác dụng. Theo hình thức đo áp suất chia thành :

- Áp kế đo áp suất dư.
- Áp kế tuyệt đối để đo áp suất tính từ độ 0 tuyệt đối.
- Khí áp kế để đo áp suất khí quyển.
- Chân không kế để đo độ chân không.

Theo nguyên lý làm việc, dụng cụ đo áp suất chia thành dụng cụ đo áp suất chất lỏng, chất khí dựa trên nguyên lý biến dạng, ion hóa, nhiệt và điện. Việc phân chia này không phải là hoàn toàn chính xác mà ta có thể bổ sung các dụng cụ đo trên cơ sở các hiện tượng vật lý khác.

Hiện nay có một số lớn các dụng cụ đo áp suất có thể đo được áp suất từ 10^{-12} đến 10^{11} Pa.

Dưới đây chúng ta xem xét một số dụng cụ đo sử dụng rộng rãi trong các quá trình công nghệ.

10.2. DỤNG CỤ ĐO ÁP SUẤT BẰNG CHẤT LỎNG CÂN BẰNG THỦY TÍNH

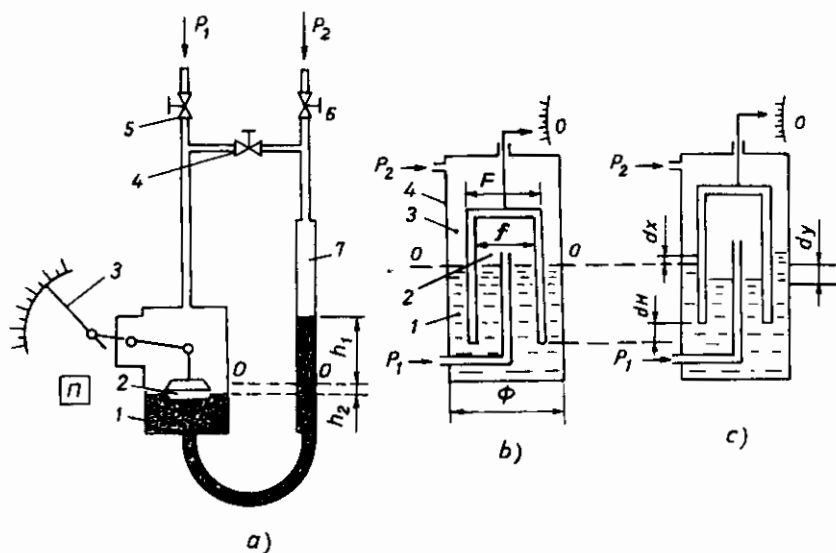
Ở loại dụng cụ đo này, áp suất đo là chiều cao chất lỏng làm việc. Chất lỏng mẫu được sử dụng là nước cất, thủy ngân, cồn êtyl hay dầu biến áp.

Hiện nay dụng cụ đo áp suất thủy tĩnh ít được sử dụng, người ta thay chúng bằng cách đo biến dạng. Có hai loại áp kế kiểu phao và kiểu chuông.

10.2.1. Áp kế vi sai kiểu phao

Nguyên lý làm việc dựa trên cơ sở cân bằng áp suất chất lỏng đo với áp suất thủy tĩnh của chất lỏng làm việc chứa trong áp kế (manomet) hình (10.1,a).

Cấu tạo : Áp kế vi sai gồm hai bình thông nhau. Tiết diện của bình lớn (1) là F lớn hơn tiết diện f của ống (7). Trong khoang trống của bình người ta điền chất lỏng làm việc (thủy ngân hay dầu biến áp) cho tới vạch số 0. Sự chênh lệch áp suất được chỉ bằng cơ cấu (3) gắn trên phao (2).



Hình 10.1. Sơ đồ nguyên lý đo áp suất chất lỏng.

Khi đo, áp suất lớn được đưa vào bình (1) còn áp suất nhỏ được đưa vào bình số (7). Áp suất được truyền qua van (5) và (6). Van (4), ngăn không cho chất lỏng mẫu trong bình phun ra ngoài khi truyền áp

suất vào một phía. Với mục đích đó, trước khi mắc dụng cụ với đối tượng đo, van (4) được mở ra, còn sau khi đã ổn định áp suất trong hai bình, ta khóa van (4) lại. Khi tháo dụng cụ khỏi đối tượng đo, cần phải mở van (4) trước, sau đó đóng van (5 và (6). Trong quá trình đo, chất lỏng ở bình (1) nén phao (2) làm cho kim chỉ thị lệch đi cho đến khi có cân bằng với cột thủy tĩnh :

$$P_1 - P_2 = g (\rho_m - \rho) (h_1 + h_2) \quad (10.1)$$

ở đây g : gia tốc rơi tự do, h_1, h_2 chiều cao mức dịch chuyển của chất lỏng mẫu.

ρ_m : tỷ trọng chất lỏng mẫu.

ρ : tỷ trọng chất lỏng cần đo.

Khi có cân bằng thể tích thì :

$$F.h_2 = f_1.h_2$$

$$\text{hay} \quad h_2 = \left[\frac{1}{1 + F/f} (\rho_m - \rho) g \right] (P_1 - P_2) \quad (10.2)$$

Biểu thức (10.2) là phương trình đặc tính tĩnh của áp kế vi sai kiểu phao. Ta nhận thấy : để nhận được sự dịch chuyển như nhau h_2 của phao khi đo hiệu số áp suất trong các phạm vi khác nhau, chỉ cần thay đổi tỷ số F/f nghĩa là chỉ thay ống có tiết diện f bằng ống có đường kính khác. Đối với áp kế vi sai kiểu phao, độ chênh lệch áp suất định mức được tính bằng công thức :

$$\Delta P = P_1 - P_2$$

$$\Delta P_{dm} = \Delta P (1 - \rho/\rho_m) \quad (10.3)$$

ρ và ρ_m lấy ở điều kiện chuẩn 1 bằng 20°C, áp suất khí quyển.

Áp kế vi sai kiểu phao được tính toán trên sự truyền áp suất định mức. Giới hạn trên của cơ cấu đo thay đổi từ 6,3 KPa đến 0,1 MPa.

Áp kế vi sai kiểu phao để đo áp suất tĩnh trung bình không lớn hơn 25 MPa. Cấp chính xác : 1, 1,5. Để truyền thông tin về giá trị đo áp suất đi xa, ta phải dùng thêm bộ biến đổi (A/D).

Cơ cấu truyền áp suất vi sai kiểu phao được ứng dụng để đo lưu lượng các chất. Áp kế có độ chính xác cao và có khả năng ghi lại các kết quả đo mà không cần nguồn năng lượng ngoài. Nhược điểm : chứa chất lỏng mẫu độc hại (thủy ngân) mà khi áp suất thay đổi đột ngột có thể ảnh hưởng đến đối tượng đo và môi trường.

10.2.2. Áp kế vi sai kiểu chuông

Áp kế (hình 10.1b,c) là một nắp chuông nhúng chìm vào chất lỏng mẫu và được dịch chuyển dưới tác dụng của sự chênh áp. Nguyên lý làm việc của áp kế kiểu chuông chỉ ra trên hình 10.1b,c. Nếu áp suất trong buồng (2) và (3) bằng nhau, thì nắp chuông (1) ở vị trí như hình 10.1b.

Nếu có một độ giảm áp trong chuông $d(P_1 - P_2)$, thì chuông được nâng lên cho đến khi lực nâng cân bằng với sự thay đổi lực nâng thủy tĩnh.

Ở trạng thái cân bằng hình 10.1c. Ta có :

$$d(P_1 - P_2) \cdot F = (dH + dy) \Delta f g(\rho_m - \rho) \quad (10.4)$$

$$dh = dy + dx \quad (10.5)$$

$$d(P_1 - P_2) = dh (\rho_m - \rho)g \quad (10.6)$$

$$f dy = \Delta f \cdot dH + (\Phi - F)dx \quad (10.7)$$

ở đây F : diện tích ngoài của chuông.

dH : độ di chuyển của chuông.

dy : độ di chuyển của chất lỏng dưới chuông.

Δf : diện tích tiết diện thành chuông.

dh : hiệu số mức chất lỏng ở ngoài và trong chuông.

dx : độ di chuyển của chất lỏng trong bình lớn.

Φ : diện tích tiết diện bình lớn.

f : diện tích tiết diện trong của chuông.

Giải các phương trình trên ta nhận được :

$$dH = \frac{f}{\Delta f \cdot g(\rho_m - \rho)} \cdot d(P_1 - P_2) \quad (10.8)$$

Lấy tích phân giới hạn từ 0 đến $(P_1 - P_2)$ ta được

$$H = \frac{f}{\Delta f \cdot g(\rho_m - \rho)} \cdot (P_1 - P_2) \quad (10.9)$$

Đó là phương trình đặc tính tĩnh của áp kế vi sai kiểu chuông. Để đảm bảo đo độ giảm áp suất trong phạm vi rộng, cần phải giảm tỷ số $f/\Delta f$.

Áp kế vi sai kiểu chuông cân bằng thủy tĩnh có độ nhạy cao, có thể đo được áp suất thấp và áp suất chân không.

10.3. ĐO ÁP SUẤT BẰNG PHẦN TỬ NHẠY CẢM VỚI BIẾN DẠNG

Nguyên lý tác dụng của các dụng cụ đo áp suất bằng biến dạng dựa trên cơ sở biến dạng đàn hồi của các phần tử cảm biến hay sự tạo ra ứng lực trong chúng. Người ta chia thành ba loại cảm biến chính được dùng rộng rãi trong các phép đo thực tế. Đó chính là lò xo ống, ống xiphông và màng mỏng.

10.3.1. Lò xo ống

Lò xo là một ống kim loại được uốn cong, một đầu giữ cố định còn một đầu để tự do. Lò xo ống chủ yếu dùng để biến đổi áp suất của đối tượng đo được đưa vào trong ống thành sự dịch chuyển của đầu đo. Phổ biến nhất là lò xo ống có một vòng, đó là một cung tròn, có tiết diện ngang hình trái xoan (hình 10.2,a).

Dưới tác dụng của áp suất dư trong ống, lò xo sẽ giãn ra, còn dưới tác dụng của áp suất thấp nó co lại. Sự dịch chuyển ống theo hướng như vậy giải thích rằng : dưới tác dụng của áp suất dư chỉ có trục nhỏ b của ống được tăng lên còn chiều của ống không đổi.

Đối với các ống thành mỏng sự thay đổi góc ở tâm của lò xo ống dưới áp suất P được biểu diễn bằng công thức :

$$\Delta\gamma = p\gamma \frac{1 - \mu^2}{E} \cdot \frac{R^2}{b \cdot h} \left(1 - \frac{b^2}{a^2}\right) \frac{\alpha}{\beta + x^2} \quad (10.10)$$

ở đây γ : góc ở tâm của ống.

μ : hệ số Poisson.

E : môđun đàn hồi của vật liệu làm ống.

R : bán kính cong (trục ở tâm, đặt ở trọng tâm của tiết diện).

h : bề dày thành ống, a và b , bán trục lớn và nhỏ tiết diện ôvan.

α, β : hệ số thực nghiệm tùy thuộc vào hình dáng tiết diện ngang của ống.

$x = R.h/a^2$: tham số chính của ống.

Lực thành phần theo hướng tiếp tuyến với trục ở đầu tự do của ống thành mỏng (tỷ số $h/b = 0,6 - 0,7$) có thể tính từ biểu thức :

$$N_t = P.a.b \left(1 - \frac{b^2}{a^2}\right) \frac{48s}{\varepsilon + x^2} \cdot \frac{\gamma - \sin\gamma}{3\gamma - 4\sin\gamma + \sin\gamma \cdot \cos\gamma} \quad (10.11)$$

Lực hướng kính :

$$N_r = P.a.b \left(1 - \frac{b^2}{a^2} \right) \frac{48s}{\varepsilon + x^2} \cdot \frac{1 - \cos\gamma}{\gamma - \sin\gamma \cos\gamma} \quad (10.12)$$

ở đây s và ε : các hệ số phụ thuộc vào tỷ số b/a .

Trong phương trình (10.11) và (10.12) tất cả các giá trị đều là hằng số trừ P . Cho nên đối với lò xo ống ta luôn luôn có đẳng thức $N = kP$; với $k = f(a, b, h, R, \gamma)$. Bằng cách thay đổi a/b , R , h và γ , ta có thể thay đổi giá trị $\Delta\gamma$ và N và độ nhảy của phép đo. Tăng giá trị $\Delta\gamma$ bằng cách tăng số vòng của lò xo. Trên hình 10.2,b chỉ ra lò xo ống có n vòng. Giá trị γ trong cảm biến loại này bằng $360^\circ.n$.

Để đo áp suất cao đến 1000 MPa, người ta dùng lò xo ống cong hay thẳng chỉ ra trên hình 10.2,c.

Sự di chuyển đầu tự do của lò xo không đi qua phía sau tiết diện thay đổi, còn mômen uốn :

$$M = \pi r^2 l . P \quad (10.13)$$

ở đây πr^2 : diện tích ống dẫn.

l : khoảng cách từ tâm ống dẫn đến trọng tâm.

P : áp suất dư đo được hướng về phía thành mỏng hơn.

Nhược điểm chính của lò xo đã khảo sát ở trên là góc quay nhỏ, điều đó yêu cầu sử dụng cơ cấu truyền động. Nhược điểm này được loại trừ trong cảm biến loại lò xo ống xoắn có tiết diện ôvan hay hình răng khia (hình 10.2,d). Góc quay của vít lò xo từ $40 - 60^\circ$. Do đó không phải dùng cơ cấu truyền động, vì rằng kim chỉ thị có thể gắn trực tiếp trên đầu tự do của lò xo. Lò xo ống để đo áp suất đến 5 MPa chế tạo bằng đồng thau, đồng đỏ. Để chế tạo các lò xo áp suất cao hơn 5 MPa, người ta sử dụng các hợp kim nhẹ, thép hợp kim. Còn với áp suất 1000 MPa và lớn hơn, người ta dùng thép gió.

10.3.2. Xiphông

Xiphông hay các vỏ hình trụ xếp nếp đặt theo chiều ngang có khả năng thay đổi đáng kể dưới tác dụng của áp suất hay lực. Trong giới hạn tuyến tính của đặc tính tĩnh, tỷ số tác dụng của lực đặt lên nó với biến dạng là không đổi, được gọi là độ cứng của xiphông. Để tăng độ cứng thường người ta đặt thêm một lò xo trong ống. Xiphông được chế tạo bằng đồng với các khác nhau, thép cacbon, thép không gỉ, hợp kim nhôm với đường kính từ 8 - 10 đến 80 - 1000 mm bề dày 0,1 - 0,3 mm.

Sự dịch chuyển δ của đáy, dưới tác dụng của lực chiều trục N xác định theo công thức :

$$\delta = N \cdot \frac{1 - \mu^2}{E \cdot h_0} - \frac{n}{A_0 - \alpha A_1 + \alpha^2 A_2 + B_0 h / R_b^2} \quad (10.14)$$

ở đây : h_0 là bề dày thành ống xiphông.

n : số nếp xếp làm việc, α : góc bịt kín.

A_0, A_1, A_2, B_0 : các hệ số phụ thuộc vào tỷ số R_{ng}/R_{tr} và

$r/R + r/R_{ng}$ bán kính ngoài, R_{tr} : bán kính trong của xiphông,

r : bán kính cong của các nếp uốn tính theo đường ở giữa).

Lực chiều trục, chính là hiệu số áp suất ΔP tác dụng lên xiphông,
 $N = \Delta P \cdot Fe\Phi$, ở đây :

$$Fe\Phi = \pi (R_{ng} + R_{tr})^2 / 5.$$

10.4. MÀNG

Người ta chia thành màng đàn hồi và màng dẻo. Màng đàn hồi có dạng phẳng tròn hay uốn nếp, có khả năng chịu uốn dưới tác dụng của áp suất (hình 10.2e,g). Đặc tính tính của màng phẳng thay đổi phi tuyến khi tăng áp suất, cho nên người ta sử dụng trong phạm vi làm việc một phần nhỏ của khả năng di chuyển này. Màng uốn nếp có khả năng sử dụng khi độ võng lớn hơn màng phẳng vì chúng có đặc tính phi tuyến nhỏ. Các màng được chế tạo từ các mác thép khác nhau.

Giá trị độ võng δ tâm của màng phẳng được giữ chặt quanh vòng tròn khi có sự thay đổi nhỏ của áp suất P tác dụng lên màng :

$$\delta = \frac{3(1 - \mu^2)PR^4}{16 \cdot Eh^3} \quad (10.15)$$

ở đây R : bán kính làm việc của màng.

Giá trị độ võng δ của màng uốn nếp được xác định từ biểu thức :

$$a = \delta/h + b\delta^3/h^3 = PR^4/(Eh^4) \quad (10.16)$$

ở đây a và b là các hệ số phụ thuộc vào hình dạng và bề dày của màng.

Các nếp uốn có dạng tam giác, hình thang, hình sin hay hình tròn. Khi cần có độ uốn lớn người ta nối màng thành hộp nhỏ (hình 10.2h) và ngay cả các khối tạo từ một vài hộp nhỏ (hình 10.2,i). Chiều sâu của nếp uốn có ảnh hưởng chủ yếu đến độ tuyến tính của đặc tính tính.

Chiều sâu của nếp uốn càng lớn thì độ tuyến tính của đặc tính càng cao. Khi đó áp suất khí quyển, sự phân bố nếp uốn ở trong hộp được cách ly với không khí (hình 10.2,k).

Màng dẻo dùng để đo áp suất nhỏ và hiệu số áp suất. Chúng là các mặt bích phẳng hay đĩa uốn nếp, có dạng chế tạo từ vải cao su, hay teflon. Màn dẻo phẳng hay uốn nếp dùng để tạo ra ứng suất đủ lớn khi có sự dịch chuyển không lớn.

Ứng suất di chuyển của màng dẻo phụ thuộc vào diện tích hiệu dụng và khi nhân với áp suất tạo ra ứng suất đặt vào tâm hình học của màng. Diện tích hiệu dụng của màng dẻo phẳng, có mặt bích chịu nén trung gian. Khi độ võng của màng nhỏ gần bằng $1/3$ diện tích hình học toàn phần (còn lại $2/3$ diện tích truyền ứng suất cho gối đỡ) nghĩa là :

$$F_{hd} = \pi D^2/12 \quad D \text{ đường kính ổ đỡ màng.}$$

Ứng suất di chuyển tạo nên trong màng :

$$N = P.F_{hd} = P.\pi.D^2/12. \quad (10.17)$$

Trong nhiều trường hợp người ta chỉ sử dụng một phần di chuyển khả dĩ của màng (đến 100%). Việc di chuyển lớn của màng có liên quan giữa lực N và dịch chuyển tâm của màng một cách phi tuyến. Để giảm độ phi tuyến và tăng ứng suất, người ta dùng màng dẻo có tâm cứng, nghĩa là màng được gắn cứng giữa hai đĩa kim loại.

Ứng suất tạo ra ở màng có tâm cứng dưới tác dụng của lực P là :

$$N = \frac{\pi(D^2 + D.d + d^2)}{12} (P) \quad (10.18)$$

D : đường kính của màng ; d : đường kính tâm đĩa cứng.

Hình 10.2-l, m chỉ ra các loại màng dẻo.

10.5. BỘ CHUYỂN ĐỔI ĐO ÁP SUẤT BẰNG BIẾN DẠNG, PHƯƠNG PHÁP BIẾN ĐỔI TRỰC TIẾP

Hiện nay các thiết bị chuyển đổi đo áp suất được sản xuất trên cơ sở biến đổi trực tiếp. Người ta phân chia theo dạng của các phần tử cảm biến cũng như phương pháp biến đổi sự di chuyển của nó hay việc phát sinh ứng suất thành các tín hiệu đo lường. Để biến đổi sự dịch chuyển của các biến thành tín hiệu đo lường, người ta sử dụng rộng rãi các phần tử biến đổi như : cuộn cảm, biến áp vi sai, điện dung, điện trở tenxơ và các phần tử biến đổi khác. Sự biến đổi ứng suất thành tín hiệu đo thực hiện bằng các phần tử biến đổi áp - điện.

10.5.1. Bộ biến đổi đo áp suất kiểu cảm ứng

Trên hình 10.3a chỉ ra sơ đồ của bộ cảm biến đo kiểu cảm ứng. Màng (1) là mỏ thép động của một nam châm điện (2) có quấn cuộn dây (3). Dưới tác dụng của áp suất đo, màng (1) được dịch chuyển làm thay đổi điện cảm của phần tử biến đổi cảm ứng. Nếu bỏ qua điện trở tác dụng của cuộn dây, từ thông tản và tổn hao trong lõi thép, thì độ tự cảm L của phần tử biến đổi được xác định bằng công thức :

$$L = \frac{W^2}{l_{tb}/(\mu_{tb} \cdot S_{tb}) + \delta/(\mu_0 \cdot S)} \quad (10.19)$$

ở đây W : số vòng dây của cuộn dây ; l_{tb} , S_{tb} : chiều dài và diện tích trung bình của lõi thép.

δ : chiều dài khe hở không khí.

μ_{tb} , μ_0 : độ từ thẩm của lõi thép và không khí.

S : tiết diện ngang khe hở không khí của mạch từ, trong quá trình đo, giá trị

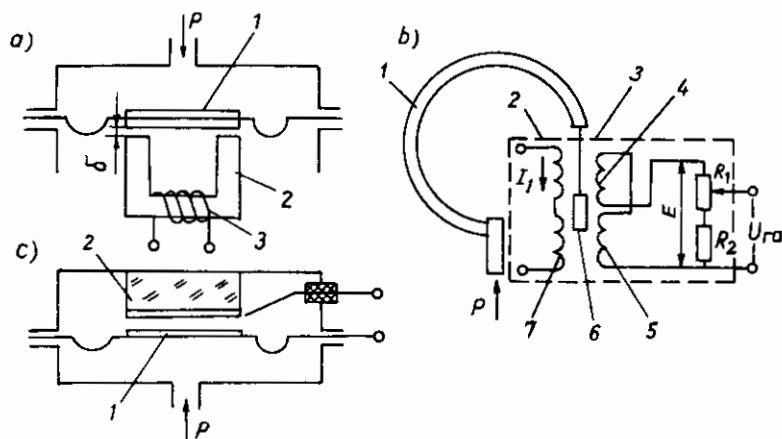
$l_{tb}/(\mu_{tb} \cdot S_{tb}) \ll \delta/(\mu_0 \cdot S)$. Cho nên ta có thể tính giá trị L một cách gần đúng :

$$L = W^2 \cdot \mu_0 \cdot S / \delta \quad (10.20)$$

Với giá trị biến dạng của màng tỷ lệ với áp suất đo :

$$\delta = k_1 \cdot P \quad (10.21)$$

$$\text{thì} \quad L = W^2 \cdot \mu_0 \cdot S / (k_1 \cdot P_1) \quad (10.22)$$



Hình 10.3. Sơ đồ bộ biến đổi đo áp suất.

Phương trình (10.22) là đặc tính tĩnh của thiết bị biến đổi do áp suất kiểu cảm ứng. Do độ tự cảm L thường được thực hiện bằng cầu đo xoay chiều hay mạch cộng hưởng $L - C$. Khi áp suất từ 0,5 - 1 MPa, bề dày của màng bằng 0,1 - 0,3 mm, còn khi áp suất là 20 - 30 MPa, bề dày màng bằng 1,3 mm.

Sự dịch chuyển của màng khoảng phần trăm mm. Sai số chủ yếu của bộ biến đổi do áp suất kiểu cảm ứng vào khoảng $\pm (0,2 - 5)\%$.

10.5.2. Bộ biến đổi áp suất thành tín hiệu điện bằng biến áp vi sai

Bộ biến đổi áp suất kiểu biến áp vi sai (hình 10.3b) gồm một cảm biến biến dạng (1) và phần tử biến đổi (2). Phần tử biến đổi một là khung cách điện, trên đó quấn cuộn dây sơ cấp (7). Cuộn sơ cấp gồm hai cuộn dây (4) và (5) đấu ngược chiều nhau. Trong rãnh của cuộn dây, người ta đặt lõi thép động (6) nối với lò xo số (1) và đầu kéo căng (3). Cửa ra của cuộn thứ cấp được đấu với điện trở R_1 ta có thể thay đổi giới hạn đo trong phạm vi $\pm 25\%$.

Tín hiệu đo ở cửa ra của bộ biến đổi được hình thành như sau : khi có dòng điện I_1 chạy qua cuộn dây sơ cấp sẽ tạo ra một từ thông trong hai nửa cuộn dây thứ cấp, làm xuất hiện trong hai nửa cuộn dây này các sdd cảm ứng e_1, e_2 . Độ lớn của chúng phụ thuộc vào hồ cảm giữa cuộn dây sơ cấp M_1, M_2 đối với mỗi nửa cuộn dây.

Với mỗi nửa cuộn dây :

$$e_1 = 2\pi f I_1 M_1 ; \quad e_2 = 2\pi f M_2 I_1 \quad (10.23)$$

Nếu hai nửa cuộn dây đấu ngược chiều quấn thì

$$E = e_1 - e_2 = 2\pi f I_1 (M_1 - M_2) = 2\pi f I_1 M \quad (10.24)$$

ở đây M là hồ cảm giữa hai cuộn dây sơ cấp và thứ cấp. Đối với phần tử biến đổi chuẩn có điện trở của ra R_1, R_2 thì điện áp ra của bộ biến đổi được tính theo công thức :

$$U_{ra} = 2\pi f I_1 M_{ra} \quad (10.25)$$

Giá trị hồ cảm M_{ra} phụ thuộc vào độ dịch chuyển δ của lõi thép (6) :

$$M_{ra} = M_{\max} \cdot \frac{\delta}{\delta_{\max}}$$

ở đây $M_{\max}$ là giá trị hồ cảm lớn nhất của cuộn dây sơ cấp và thứ cấp tương ứng với độ dịch chuyển lớn nhất $\delta_{\max}$ của lõi thép. Giải các phương trình (10.24) và (10.25) ta tìm được điện áp ở cửa ra của bộ biến đổi.

$$U_{ra} = \frac{2\pi f I_1 M_{\max}}{\delta_{\max}} \delta \quad (10.26)$$

Hiện nay các bộ cảm biến có lõi với chiều dài toàn phần của lõi từ 1,6 - 2,5 và 4mm. Tín hiệu điện áp xoay chiều ở cửa ra thay đổi từ -1V đến +1V. Với dấu (-) chỉ sự thay đổi pha của tín hiệu. Giá trị điện áp tín hiệu ở cửa ra tương ứng với sự thay đổi hồ cảm của cảm biến từ -10 đến +10 mH.

Biến đổi áp suất đo thành tín hiệu U_{ra} được thực hiện bằng cách biến đổi áp suất thành sự biến dạng của phân tử cảm ứng gắn với lõi sắt 6 và sau đó biến đổi sự dịch chuyển của lõi thép 6 thành tín hiệu điện. Đặc tính tĩnh của cảm biến áp suất là nghiệm của phương trình 10.26 và phương trình : $\delta = kP$, ở đây δ là biến dạng của lò xo, k : hệ số biến đổi. Cấp chính xác của bộ cảm biến là 1,0 và 1,5.

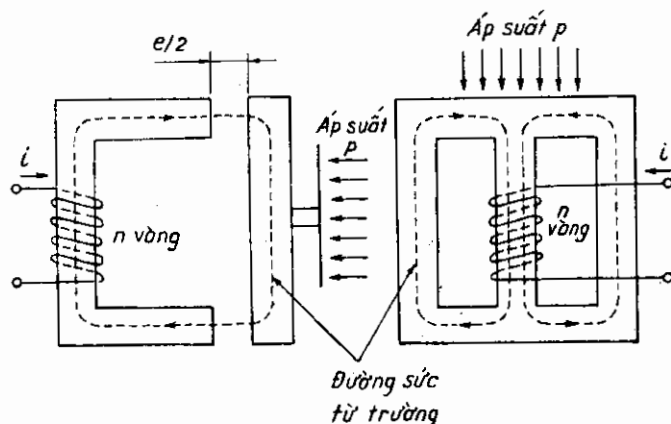
Hiện tượng từ giảo (hình 10.4) là đặc tính của một số vật liệu từ có hệ số từ thẩm μ phụ thuộc vào ứng suất (áp suất) theo biểu thức $\mu = f(\sigma)$.

Cảm biến từ giảo có độ biến thiên điện cảm phụ thuộc vào biến thiên của từ thẩm $\Delta\mu$ theo công thức

$$\frac{\Delta L}{L} = \frac{\Delta\mu}{\mu}$$

Điện cảm L được thực hiện bằng cuộn dây quấn trên lõi sắt từ có từ thẩm μ thay đổi.

Cảm biến rất chắc chắn, nhưng phụ thuộc vào từ trường ngoài và nhiệt độ.



Hình 10.4. Bộ cảm biến áp suất từ giảo.

10.5.3. Cảm biến áp suất kiểu điện dung

Sơ đồ cảm biến kiểu điện dung chỉ ra trên hình 10.3c. Màng kim loại (1) nhận áp suất đo là một bản cực động của biến đổi điện dung. Bản cực tĩnh (2) được cách điện với vỏ bằng thạch anh. Sự phụ thuộc của điện dung C vào độ dịch chuyển δ của màng (1) có dạng :

$$C = \varepsilon \cdot S / (\delta + \delta_0) \quad (10.27)$$

ở đây ε hằng số điện môi của cách điện điển đầy khe hở giữa các bản cực.

S : diện tích bản cực,

δ_0 : khoảng cách giữa các bản cực khi áp suất bằng 0.

Để biến đổi điện dung C thành tín hiệu đo lường, thường người ta dùng cầu xoay chiều hay mạch vòng cộng hưởng $L - C$. Bộ cảm biến áp suất kiểu điện dung để đo áp suất đến 120 MPa. Bề dày của màng từ 0,005 - 1 mm. Nó dùng trong trường hợp áp suất thay đổi nhanh. Hằng số thời gian biến đổi là 10^{-4} s. Sai số là $\pm(0,2 - 5)\%$.

10.5.4. Cảm biến áp suất kiểu điện trở tenxơ

Bộ cảm biến áp suất này là các phần tử nhạy cảm với biến dạng thường là các màng mỏng được dán các điện trở tenxơ. Nguyên lý làm việc chủ yếu của điện trở tenxơ là hiệu ứng tenxơ thực chất là tạo ra sự thay đổi điện trở của vật liệu dẫn hay bán dẫn khi chúng bị biến dạng.

Sự biến thiên điện trở và biến dạng xác định theo quan hệ :

$$\frac{\Delta R}{R} = k_T \frac{\Delta l}{l} \quad (10.28)$$

ở đây $\Delta R/R$: sự biến thiên điện trở tương đối của điện trở tenxơ, k_T là hệ số không đổi, được xác định bởi vật liệu làm điện trở tenxơ. $\Delta l/l$ sự thay đổi chiều dài tương đối của điện trở tenxơ. Các lá điện trở tenxơ được chế tạo từ mangan, nicrom, constantan và ngay cả vật liệu bán dẫn loại P và N. Điện trở tenxơ chế tạo từ vật liệu dẫn điện có điện trở từ 30 - 500 Ω , còn điện trở tenxơ bán dẫn có giá trị từ 10^{-2} đến 10 k Ω .

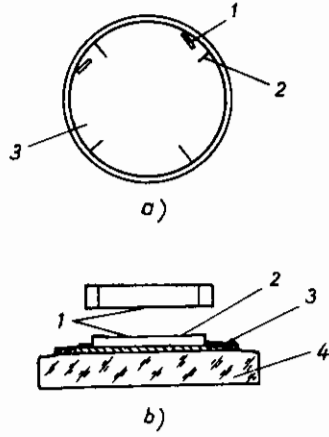
Với công nghệ hiện đại, người ta đã chế tạo các điện trở tenxơ trực tiếp trên các tinh thể silic hay đá quý.

Trên hình 10.5a cho biết màng đá quý (3) có đặt một miếng phẳng điện trở tenxơ loại P với độ nhạy dương ở vị trí (1) và âm ở vị trí (2).

Độ nhạy dương có ở các tenxơ mà tỷ số $\Delta R/R > 0$, còn khi $\Delta R/R < 0$ có độ nhạy âm. Cấu tạo của một điện trở tenxơ phẳng cho trên hình 10.5b.

Điện trở tenxơ có thể đặt trên màng sao cho khi biến dạng điện trở gia tăng có dấu khác nhau. Điều đó cho phép tạo ra một sơ đồ cầu. Trong mỗi một nhánh được mắc với điện trở tenxơ tương ứng với giá trị $\Delta R/R$ và các phần tử bù nhiệt độ.

Hình 10.6a là sơ đồ hệ cảm biến đo áp suất kiểu điện trở tenxơ. Các môđun tenxơ (4) là một màng mỏng kim loại trên đó có gắn bốn điện trở tenxơ silic, tạo ra các nhánh của một

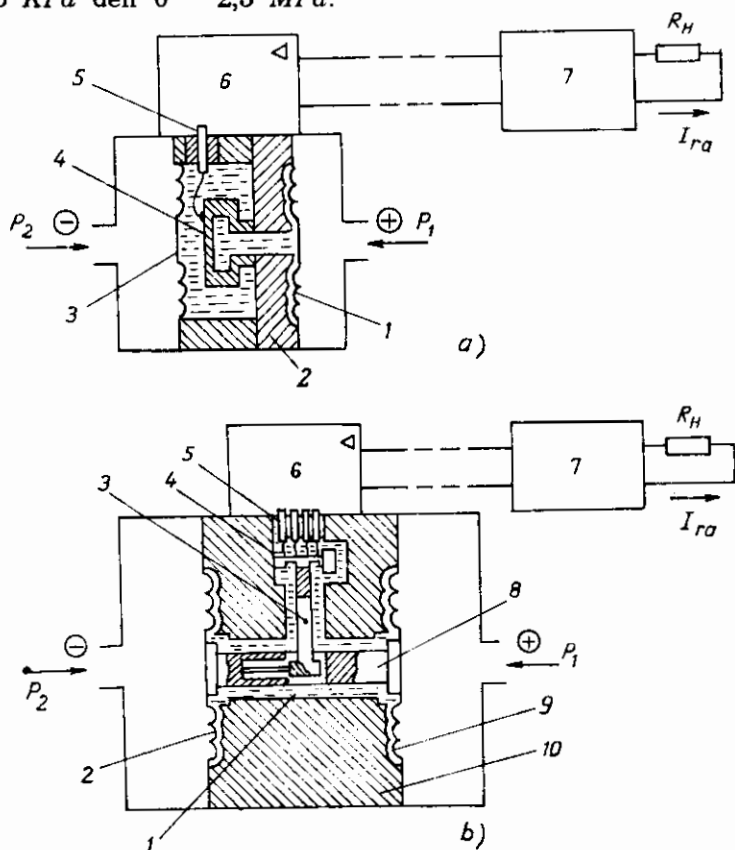


Hình 10.5. 1. Điện trở tenxơ. 2. Vỏ bảo vệ. 3. Dây dẫn điện. 4. Phần tử đàn hồi.

cầu không cân bằng. Môđun tenxơ gắn trên đế (2) chia môi trường đo thành hai màng kim loại (1) và (3). Hiệu số áp suất đo $P_1 - P_2$ tác dụng lên tenxơ qua màng chỉ thị và chất lỏng. Qua cửa ra khép kín (5) của môđun tenxơ được đấu với khuếch đại điện tử (6). Nhờ đó sự thay đổi điện trở của tenxơ biến đổi thành dòng điện của tín hiệu ra (0 - 5, 0 - 20, hay 4 - 20 mA) được truyền bằng mạch an toàn tia lửa tới bộ nguồn (7) đặt trong phòng an toàn nổ cung cấp cho cuộn dây sơ cấp của bộ biến đổi theo hai dây dẫn. Nhờ có bộ nguồn ta có thể nâng công suất của tín hiệu ra đến mức tín hiệu của ra (0 - 5, 0 - 20, hay 4 - 20 mA) bằng cách mắc thêm điện trở ngoài R_1 . Trong bộ biến đổi áp suất dư, áp suất tuyệt đối và áp suất chân không, người ta thường dùng bộ biến đổi tương tự. Đặc điểm là bộ biến đổi được nối với đối tượng đo ở buồng đo (+) còn đối với khí quyển ở buồng (-) được nối với buồng chân không.

Bộ biến đổi áp suất bằng điện trở tenxơ với môđun tenxơ màng chỉ ra trên hình 10.6b. Môđun tenxơ màng (3) đặt vào một khoang kín điện dẫn chất lỏng polymetilslocan (1) cách ly môi trường đo các màng uốn nếp (2) và (9). Các màng phía ngoài được gắn với đế (10) và nối với tâm của thanh (8) có liên hệ với đầu mút của cánh tay đòn của môđun tenxơ. Sự chênh lệch áp suất gây ra do độ võng của màng (2) và (9),

môđun tenxơ, làm thay đổi điện trở của tenxơ (4). Tín hiệu điện của môđun tenxơ được đưa qua cửa ra (5) tới bộ khuếch đại điện tử (6) và bộ nguồn (7). Cấp chính xác của bộ biến đổi áp suất bằng điện trở tenxơ là 0,6; 2,0; 1,5. Thời gian tín hiệu ra xác lập khi có sự thay đổi các tham số đo bằng 0,5 và 2,5 giây. Phạm vi đo áp suất dư : từ $0 - 10^{-3}$ đến $0 - 60 \text{ MPa}$, áp suất chân không $10^{-3} - 0 \text{ KPa}$, áp suất tuyệt đối từ $0 - 2,5 \text{ KPa}$ đến $0 - 2,5 \text{ MPa}$.



Hình 10.8. Sơ đồ nguyên lý hệ cảm biến đo áp suất kiểu điện trở tenxơ.

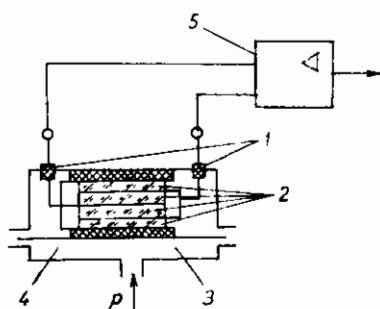
10.5.5. Bộ biến đổi đo áp suất kiểu áp điện

Nguyên lý làm việc của bộ biến đổi này dựa trên cơ sở biến đổi áp suất đo thành ứng suất nhờ có sự biến dạng của các phân tử nhạy cảm. Nguyên lý tác dụng của các cảm biến áp điện dựa trên hiệu ứng áp điện có ở một số tinh thể như : thạch anh, turmalin, Titan, Bari v.v... Bản chất của hiệu ứng áp điện là nếu có một lát cắt thạch anh theo trục x

chịu nén một lực N , thì trên mặt cạnh của nó sẽ xuất hiện các điện tích với các giá trị khác nhau. Giá trị điện tích Q phụ thuộc vào lực nén N theo quan hệ $Q = kN$.

Ở đây k là hệ số phụ thuộc vào kích thước của lát cắt và bản chất của tinh thể. Ví dụ đối với thạch anh $k = 2,1 \cdot 10^{-12} \text{ C/N}$. Trên hình 10.7 chỉ ra sơ đồ bộ biến đổi áp suất bằng tinh thể áp điện.

Áp suất đo được biến đổi nhờ màng (4) thành ứng suất, tạo nên một lực nén lên miếng thạch anh (2), đường kính 5 mm, có bề dày 1 mm. Điện tích Q xuất hiện ở cửa ra (1) được đưa tới bộ khuếch đại điện tử (5) có tổng trở vào rất lớn cỡ $10^{13} \Omega$. Quan hệ giữa điện tích Q và áp suất P là :



Hình 10.7. Sơ đồ nguyên lý bộ biến đổi áp suất bằng tinh thể áp điện

$$Q = k \cdot F \cdot P \quad (10.29)$$

ở đây F : diện tích hữu ích của màng.

Để giảm quán tính của bộ biến đổi, người ta giảm thể tích của buồng (3). Vì rằng tần số dao động riêng của hệ thống màng - lát cắt thạch anh vào khoảng hàng chục KHz, nên bộ biến đổi đo loại này có đặc tính động học cao, do đó chúng được sử dụng rộng rãi để đo và kiểm tra áp suất trong hệ thống có quá trình dòng chảy nhanh.

Độ nhạy của bộ biến đổi có thể nâng cao bằng cách mắc song song một số tinh thể thạch anh và tăng diện tích hữu ích của màng.

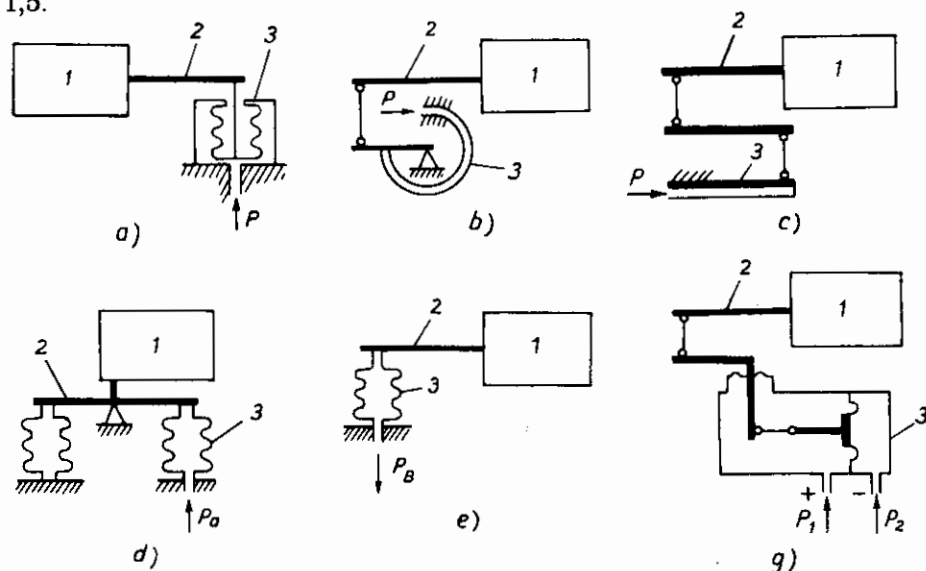
Giới hạn trên của bộ biến đổi áp suất kiểu áp điện với tinh thể thạch anh từ 2,5 - 100 MPa. Cấp chính xác 1,5; 2. Bộ biến đổi này không dùng để đo áp suất tĩnh.

10.5.6. Bộ cảm biến áp suất kiểu biến dạng trên cơ sở của phương pháp cân bằng

Bộ cảm biến này được sử dụng rộng rãi trong hệ thống điều khiển tự động các quá trình công nghệ trong một số lĩnh vực công nghiệp. Chúng được nối với hệ thống truyền tín hiệu đo đi xa với tín hiệu ra là dòng điện hay khí nén tiêu chuẩn. Đặc điểm của bộ biến đổi đo này là dùng cấu tạo sơ đồ khối của các bộ biến đổi tiêu chuẩn. "Lực - áp suất"

hay "Lực - dòng điện". Điều đó cho phép tạo ra trên gốc của chúng không những áp suất dư mà có cả sự chênh lệch áp suất và độ chân không.

Hình 10.8 chỉ ra sơ đồ nối phần tử nhạy biến dạng với biến dạng bộ biến đổi chuẩn "Lực - áp suất". Cấp chính xác của bộ biến đổi đo khi nén: 0,5; 1; 1,5.



Hình 10.8. Sơ đồ nối phần tử nhạy biến dạng với bộ biến đổi tiêu chuẩn "Lực - áp suất". 1 Bộ biến đổi tiêu chuẩn ; 2 Tay đòn ; 3. Phần tử nhạy biến dạng.

10.6. CẢM BIẾN ÁP SUẤT ÁP TRỞ

Theo quan điểm ứng dụng ta có thể phân chia các cảm biến áp suất thành :

- Cảm biến áp suất tuyệt đối
- Cảm biến áp suất hàn kín
- Cảm biến áp suất chân không
- Cảm biến áp suất vi sai.

Điểm khác nhau chủ yếu của chúng là cấu trúc của cổng áp suất chuẩn ký hiệu P_1 là áp suất phía trên của màng, P_2 là áp suất phía dưới. Ở cảm biến áp suất tuyệt đối cổng P_2 hoàn toàn kín, ở áp suất tuyệt đối bằng không. Đầu ra cảm biến ở áp suất môi trường sẽ tỷ lệ với áp suất khí áp. Cấu trúc này thường được sử dụng để đo áp suất khí.

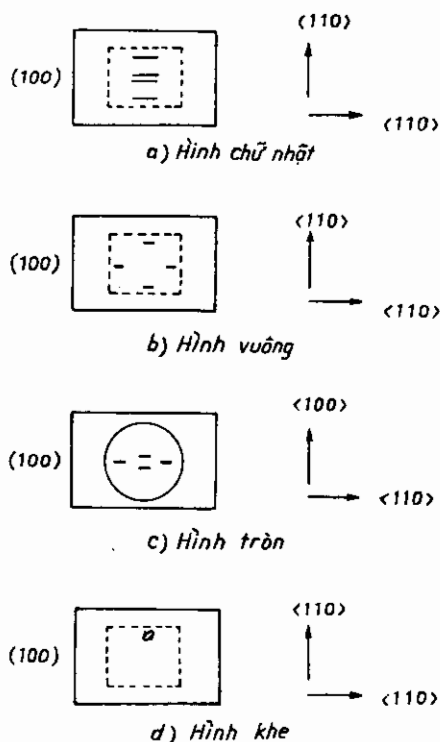
Ở cảm biến đầu đo kín áp suất P_2 là áp suất môi trường xung quanh mà không phải là chân không. Cấu trúc này thường được sử dụng

để đo phạm vi áp suất cao, khi đó sự biến thiên áp suất khí quyển không gây sai số đáng kể.

Ở cảm biến chân không hay cảm biến áp suất màng phải có độ lệch bằng không ở áp suất môi trường, do đó áp suất khí quyển phải được đưa vào lỗ P_2 của cảm biến. Đầu ra chỉ tỷ lệ với độ chênh áp suất vào và áp suất môi trường mà không nhạy với biến thiên áp suất khí áp.

Ở cảm biến áp suất vi sai P_2 là áp suất đầu vào thứ hai. Khi $P_1 = P_2$ độ lệch của màng bằng không. Đầu ra của cảm biến áp suất vi sai chỉ tỷ lệ với $P_1 - P_2$ nhưng cũng phụ thuộc một phần vào áp suất tĩnh $(P_1 + P_2)/2$.

Hình dáng của một số màng cảm biến áp trở tích hợp được cho trên hình 10.9.



Hình 10.9. Hình dáng màng cảm biến áp trở mạch tích hợp điển hình.

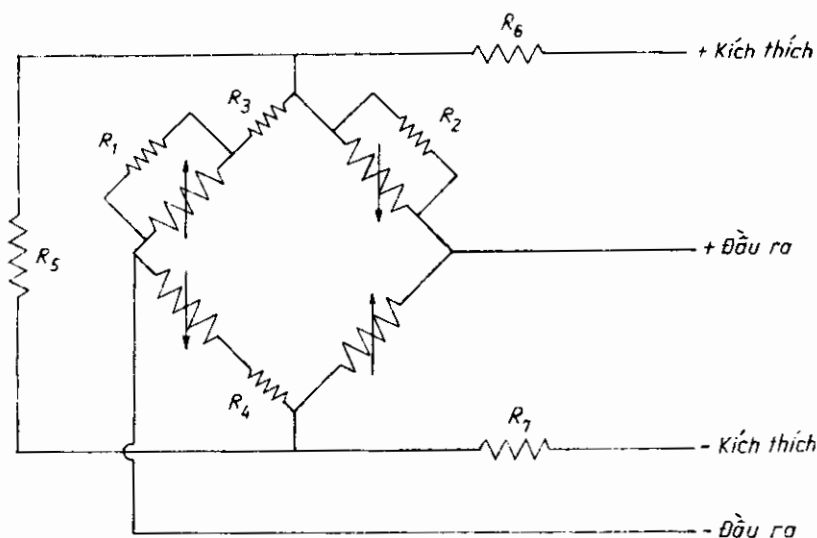
Hình 10.9a có màng chữ nhật gồm bốn cảm biến áp trở. Hai cảm biến bố trí song song gần mép, còn hai cảm biến nữa đặt gần tâm. Màng này được sử dụng khi áp suất gây ra ứng suất lớn song song với trục ngắn của màng. Nếu tỷ số màng lớn hơn 3/1 ứng suất dọc theo trục chính bị giới hạn bởi tỷ số Poisson, hoặc bằng khoảng 2 lần ứng suất dọc theo trục nhỏ.

Hình 10.9b có màng hình vuông, cảm biến được bố trí ở phía chu vi của màng ở đó ứng suất là cực đại. Bố trí này tạo nên cầu Wheatstone gồm hai cảm biến theo chiều dọc và hai cảm biến theo chiều ngang.

Hình 10.9c có màng hình tròn không nhạy cảm theo chiều ngang.

Hình 10.9d có màng hình vuông có lỗ. Ứng suất cực đại ở 45° so với một trong các lỗ của màng.

Độ nhạy của cảm biến áp trở phụ thuộc vào độ lớn của áp suất cần đo. Đối với dải áp suất thấp độ nhạy của cảm biến thay đổi trong khoảng từ 0,1 đến 3 $mV/mbar$ phụ thuộc vào hình dáng của màng và cường độ dòng điện. Trong dải áp suất từ hàng trăm mbar đến hàng trăm bar, độ nhạy thay đổi từ 0,2 đến 12,5 mV/bar . Cảm biến áp trở loại khuếch tán có thể làm việc trong dải nhiệt độ từ $-40^\circ C$ đến $125^\circ C$ phụ thuộc vào tỷ lệ kích tạp. Để bù ảnh hưởng thay đổi nhiệt của điện trở cảm biến ta có thể sử dụng mạch bù như hình 10.10.



Hình 10.10. Mạch bù cho cảm biến áp trở.

Trong mạch bù có sử dụng các điện trở shunt có hệ số nhiệt điện trở khác nhau nằm trong các nhánh cầu Wheatstone. Điều chỉnh cân bằng "0" bằng R_3 và R_4 nối tiếp trong các nhánh cầu. Các điện trở này có hệ số nhiệt rất nhỏ so với hệ số nhiệt điện trở tương đối cao của cầu.

Cảm biến áp trở khuếch tán trực tiếp lên vật trung gian có độ tuyến tính và độ trễ từ $\pm 0,2$ đến $\pm 2\%$ của dải đo, độ phân giải hơn 0,1% và độ chính xác từ 0,1 đến 0,5%. Độ nhạy phụ thuộc vào tần số riêng của

màng. Tần số này phụ thuộc vào đường kính và chiều dày của màng, thay đổi từ 50 kHz đến 1 MHz.

Ưu điểm cơ bản của cảm biến mạch tích hợp Si là tín hiệu ra tương đối lớn, kích thước và khối lượng cảm biến rất nhỏ cỡ mm, không nhạy cảm với rung động và va chạm mạch.

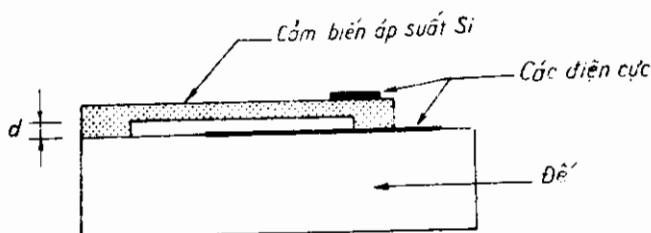
10.7. CẢM BIẾN ÁP SUẤT SILIC KIỂU ĐIỆN DUNG

Nguyên lý hoạt động của cảm biến điện dung rất đơn giản. Điện dung của tụ điện được thay đổi bằng cách tác động lên một trong các thông số làm thay đổi điện trường giữa hai vật dẫn tạo nên hai bản cực của tụ điện. Một trong hai bản cực được nối cơ học với vật trung gian chịu tác động của áp suất cần đo. Hình 10.11 trình bày cấu tạo của cảm biến áp suất điện dung silic. Để cảm biến là thủy tinh hoặc silic khoảng cách d giữa hai bản cực kim loại có thể thay đổi khi có áp suất tác động lên cảm biến. Do tác động của áp suất điện dung của cảm biến thay đổi theo quy luật

$$\frac{\Delta C}{C_0} = - \frac{\Delta D}{D_0} \quad (10.30)$$

D_0 là khoảng cách giữa hai bản cực

ΔD là biến thiên khoảng cách.



Hình 10.11. Cảm biến áp suất điện dung silic.

Trong thực tế biến thiên điện dung sẽ phức tạp hơn nhiều nếu một bản cực của tụ điện là điện cực động và có thể bị biến dạng dưới tác dụng của áp suất. Trong trường hợp này để hạn chế sai số tuyến tính dưới n% cần đảm bảo độ di chuyển của màng theo điều kiện :

$$\Delta D < \frac{n}{50} D_0. \quad (10.31)$$

Có thể sử dụng nguyên lý biến thiên điện dung vì sai của chuyển đổi điện dung theo sơ đồ hình 10.3c.

Các bản cực A_1 và A_2 được gắn với chất điện môi cứng, chúng kết hợp với màng nằm ở giữa hai bản cực để tạo nên tụ điện C_1 (ở phía áp suất cao) và C_2 (ở phía áp suất thấp). Độ di chuyển cực đại của tâm màng có thể đạt tới $50 \div 100 \mu\text{m}$.

Các áp suất p_1 và p_2 của hai môi trường đo sẽ tác động lên màng do thông qua vai trò các màng điện môi và dầu silicon. Khi bị biến dạng màng sẽ dịch chuyển giữa hai bản cực cố định của tụ điện và tạo nên tín hiệu i_m tỷ lệ với chênh lệch áp suất giữa hai môi trường :

$$i_m = K \frac{C_1 - C_2}{C_1 + C_2} = K'(p_1 - p_2) \quad (10.32)$$

Các cảm biến áp suất điện dung có độ tuyến tính từ 0,5 đến 2% dải đo, độ trễ nhỏ hơn 0,02% độ phân giải tốt hơn 0,1%, độ chính xác từ 0,2 đến 0,5%. Độ nhanh hồi đáp phụ thuộc vào tần số riêng, thay đổi từ 50 - 200 kHz tùy theo đường kính màng đo.

Ưu điểm của cảm biến điện dung là cho tín hiệu đo lớn từ 20 đến 200 mV, khối lượng nhỏ và ít nhạy cảm với gia tốc. So với cảm biến áp trở cảm biến điện dung ít nhạy với nhiệt độ và ổn định cao hơn. Tuy nhiên cảm biến này phụ thuộc vào độ ẩm vì độ ẩm ảnh hưởng đáng kể đến hằng số điện môi của tụ điện.

Chương 11

CẢM BIẾN ĐO CHÂN KHÔNG

11.1. NHỮNG KHÁI NIỆM CHUNG

Ta thường gọi chân không là môi trường khí có áp suất nhỏ hơn áp suất khí quyển. Việc đo độ chân không là nhiệm vụ khó khăn vì áp suất khí quyển ở chân không thay đổi trong một phạm vi rất rộng, vì thế người ta đã chế tạo nhiều dụng cụ đo theo các nguyên lý khác nhau. Để dễ phân loại ta chia khoảng áp suất chân không thành các khoảng :

- Chân không sơ cấp $10^2 Pa < P < 10^5 Pa$
- Chân không trung bình $10^{-1} Pa < P < 10^2 Pa$
- Chân không cao $10^{-5} Pa < P < 10^{-1} Pa$
- Chân không siêu cao $P < 10^{-5} Pa$

Đơn vị đo độ chân không thông dụng là pascal, Pa (N/m^2), ngoài ra còn sử dụng đơn vị đo áp suất chân không khác như *torr* (Torricelli) hoặc *bar*. Quy đổi giữa các đại lượng như sau :

$$1 \text{ Torr} = 133 \text{ Pa}$$

$$1 \text{ mbar} = 100 \text{ Pa} = 0,75 \text{ Torr}$$

Khi đo áp suất dưới 1 Pa cần chú ý những đặc điểm sau đây :

- Trừ áp kế cơ khí, độ nhạy của các áp kế thay đổi tùy theo loại khí cần đo, đôi khi độ nhạy khác nhau tới 10 lần ! Nếu chưa biết thành phần khí cần đo thì không thể chỉ dẫn về áp kế cần sử dụng. Quy luật biến thiên của độ nhạy theo loại khí không giống nhau đối với mỗi dụng cụ đo, do vậy hai áp kế nối với cùng một thiết bị có thể cho số chỉ khác nhau.

- Nói chung các áp kế được khắc độ theo không khí khô hoặc nitơ và nói chung không thể hiệu chỉnh chỉ số của chúng đối với một môi

trường khí bất kỳ, vì thế phép đo thường được biểu thị theo áp suất nitơ tương đương.

- Độ nhạy của áp kế có thể thay đổi theo thời gian theo tình trạng độ sạch của nó. Đặc biệt các hydrocacbua có hạt dầu, mỡ làm ô nhiễm đáng kể các đầu đo nhiệt và ion. Tùy theo kiểu dạng một đầu đo bị bẩn có thể chỉ áp suất quá thấp hoặc cao quá.

- Việc chỉnh định áp kế là công việc khá tế nhị mà không phải bao giờ các chuyên gia đều luôn thống nhất.

- Nếu hỗn hợp chứa hơi nước có thể dẫn đến sai số hệ thống quan trọng đối với phép đo.

- Với áp suất dưới 10^{-3} Pa vị trí đặt đầu đo, kích thước và loại kênh ghép nối, bơm nếu có... ảnh hưởng tới phép đo. Mặt khác khi vận hành phép đo có thể bị ảnh hưởng nhiều bởi sự thoát khí của đầu đo trong những phút đầu tiên.

- Do các đặc điểm đã nêu ở trên cần phải hết sức chú ý đối với phép đo áp suất dưới 1 Pa. Với sai số 50 đến 100% là sai số thông thường khi các điều kiện đo hoàn toàn xác định. Trong phòng thí nghiệm định chuẩn độ chính xác 5% là rất cao, khó thực hiện được.

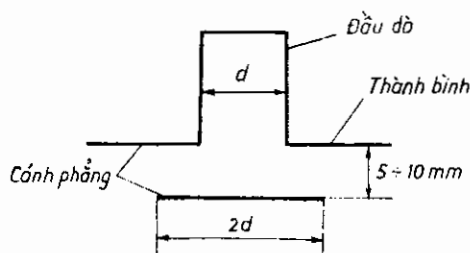
11.2. ĐẶT CÁC CẢM BIẾN ĐO CHÂN KHÔNG

Mỗi áp kế có đặc điểm sử dụng riêng. Một số quy tắc chung nối ghép các cảm biến chính xác là :

- Đảm bảo độ kín ghép nối.
- Bảo vệ các cảm biến chống bị ngưng đọng các sản phẩm ăn mòn.
- Thường mong muốn lắp cảm biến ở vị trí thẳng đứng, đầu xuống dưới, để nó không chứa chất ngưng tụ hay bụi, trừ áp kế đối lưu đặt ngang.

- Trong hệ thống có sóng cao tần cần chống nhiễu cho cảm biến, một giải pháp có thể được trình bày trên hình 11.1. Sơ đồ cũng bảo vệ chống các vật lạ.

Không nên đặt bộ lọc bụi giữa cảm biến và bình chứa chân không, vì bộ lọc là nguồn thoát khí lớn.



Hình 11.1. Vị trí tương đối và kích thước cánh phẳng so với đầu dò.

11.3. CÁC LOẠI ÁP KẾ ĐO ÁP SUẤT TỔNG

Các áp kế đo chân không dựa trên những nguyên lý vật lý khác nhau. Có thể phân thành bốn lớp chính là :

- Áp kế cơ khí đo lực tạo nên áp suất và có thể coi là áp kế tuyệt đối ;

- Các áp kế nhiệt ;

- Áp kế điện tử đầu đo ion hóa ;

- Áp kế nhiệt hạt nhân.

Ba loại thiết bị dưới không thực sự là đo áp suất mà đo mật độ phân tử. Quan hệ giữa chúng được biểu diễn từ phương trình khí lý tưởng.

$$P = nkT \quad (11.1)$$

với P là áp suất ;

n là nồng độ hoặc mật độ phân tử ;

k là hằng số Boltzman ($1,38.10^{-23} \text{ J/K}$) ;

T nhiệt độ nhiệt động.

Phạm vi sử dụng của các loại áp kế được cho trong bảng 11.1.

11.4. ÁP KẾ CƠ KHÍ

Trừ áp kế MacLeod các áp kế loại này không dành riêng đo độ chân không, thực tế chúng là các áp kế kinh điển để đo áp suất thường. Như ta biết phép đo lực có thể suy ra áp suất. Ở đây ta có thể sử dụng hai phương pháp chính :

- Đo biến dạng cơ (áp kế Bourdon hay màng)

- Quy luật cơ bản của thủy tĩnh (ống chữ U).

Trong cả hai trường hợp ta nhận được các dụng cụ đơn giản và chắc chắn nhưng chỉ có các loại áp kế đầu được dùng trong công nghiệp, ta cần lưu ý là các áp kế cơ khí đo hiệu áp suất nên để có áp suất tuyệt đối cần có áp suất chuẩn. Trong mọi trường hợp áp suất chuẩn không phải là áp suất khí quyển, do vậy sự biến thiên rất lớn và ngẫu nhiên. Với các phép đo chân không chỉ cần bù áp suất khí quyển.

Các áp kế cơ khí cho phép đo áp suất tuyệt đối, vì thế từ lâu người ta đã có ý định mở rộng phạm vi ứng dụng về áp suất rất thấp bằng

Phạm vi sử dụng của các loại áp kế

Kiểu thiết bị	Phạm vi áp suất															Độ chính xác %
	10^{-10}	10^{-9}	10^{-8}	10^{-7}	10^{-6}	10^{-5}	10^{-4}	10^{-3}	10^{-2}	10^{-1}	1	10^2	10^3	10^4	10^5	
Áp kế Bourdon																5
Áp kế điện dung																10
Áp kế MacLeod																10
Áp kế cặp nhiệt																10
Áp kế Pirani																15
Áp kế Penning																25
Đầu đo Bayard																15
Đầu đo ion hóa																15
Đầu đo bi																5

cách tăng độ nhạy. Đối với các ứng dụng trong phòng thí nghiệm ta cũng gặp các thiết bị sau đây :

- Áp kế dẫn suất từ ống Boudon, có ống thạch anh xoắn hình xoắn được sử dụng đến áp suất 10^{-1} Pa.

- Áp kế điện dung có một màng biến dạng (di động) dùng làm bản cực của một tụ điện phẳng. Sự biến thiên áp suất tạo nên biến thiên điện dung để đo. Độ nhạy của chúng cho phép sử dụng đến áp suất 10^{-2} Pa.

Cách chế tạo áp kế điện dung cũng như vật liệu sử dụng làm màng và vỏ phải chịu ăn mòn nên nói chung chúng được sử dụng trong hệ thống khô. Khuyết điểm chủ yếu của áp kế này là độ nhạy thay đổi nhanh theo nhiệt độ. Để bù ảnh hưởng này thường sử dụng bộ ổn nhiệt làm việc ở nhiệt độ cao hơn nhiệt độ môi trường xung quanh, vì vậy có thể loại trừ được sự trôi về nhiệt (hình 11.2).

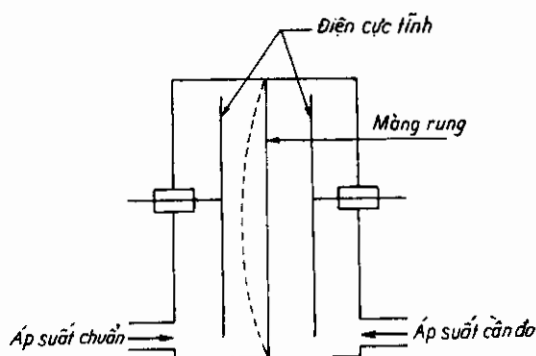
Màng rất mỏng (khoảng phần trăm mm) do đó dễ hỏng nếu áp suất tăng đột ngột. Không sử dụng áp kế điện dung khi thoát nhanh và chu kỳ khí từ bình chứa.

Cần dự kiến một van đặt giữa cảm biến và bình chứa nếu áp suất bình lớn hơn áp suất khí quyển và bảo vệ cảm biến chống các rung động cơ học.

11.5. ÁP KẾ MAC LEOD

Xuất phát trực tiếp từ định luật Boyle - Mariotte áp kế mang tên nhà phát minh từ năm 1874.

Áp kế thích dụng trong khoảng áp suất $10^2 - 10^4$ Pa ngày nay thực tế không sử dụng nữa. Nguyên lý của áp kế Mac Leod được cho trên hình 11.3 gồm một bình cố định chứa khí lúc bắt đầu đo và một bình chứa di động R chứa thủy ngân. Bằng cách thao tác bình di động nối bằng ống mềm C với đoạn thủy tinh ta thực hiện được một bơm chất lỏng.



Hình 11.2. Áp kế điện dung.

Đầu tiên cách ly khí trong khối cố định rồi nén mạnh. Trong khối V_2 có áp suất P_1

$$P_1 = \rho gh + P \quad (11.2)$$

ρ là tỷ trọng của thủy ngân ;

g là gia tốc trọng trường ;

P là áp suất khí ban đầu trong V_1 chưa biết ;

V_1 thể tích khí cách ly bởi thủy ngân trên mức a ;

V_2 là thể tích khí sau khi nén khí thủy ngân ở b .

Theo định luật Mariotte $P_1 V_1 = P_2 V_2 \quad (11.3)$

suy ra $P = \rho hg V_2 / (V_1 - V_2) \quad (11.4)$

trong điều kiện thực tế luôn có

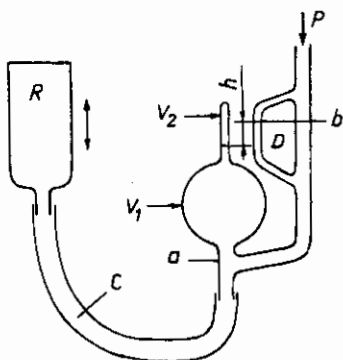
$$V_1 \gg V_2 \text{ và } \rho hg \gg P \text{ thì } P \approx \rho hg V_2 / V_1 \quad (11.5)$$

Do vậy chỉ cần đo thể tích và độ dài có thể suy ra áp suất P . Áp kế Mac Leod là một áp kế tuyệt đối đo áp suất chất khí tuân theo định luật Mariotte, còn gọi là khí xác lập và thường được sử dụng để chia độ bằng cách so sánh với các áp kế khác.

Vấn đề sẽ trở nên phức tạp nếu sử dụng áp kế Mac Leod để đo hơi nước có đặc tính nhiệt động gần với điều kiện đối pha. Trong các điều kiện này khí nén để đo hơi nước không tuân theo định luật Boyle

- Mariotte nữa mà tuân theo định luật Clapeyron, nghĩa là tích của áp suất và thể tích không phải hằng số nữa.

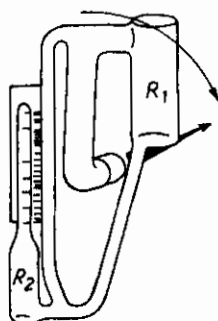
Ví dụ đo độ chân không giới hạn trong một bơm cánh hai tầng. Áp suất tổng vào khoảng $2.10^{-1} Pa$ và không khí gồm 90% hơi dầu bão hòa. Áp suất riêng phần của hơi dầu là $1,8.10^{-1} Pa$ và áp suất riêng của khí là $2.10^{-2} Pa$. Khi đo có thể coi là đẳng nhiệt áp suất khí là 200 hoặc 300 Pa trong khi áp suất dầu luôn là $1,8.10^{-1} Pa$. Áp dụng công thức (11.5) với áp suất ở đây là $2.10^{-2} Pa$ tương ứng với áp suất riêng của khí xác lập, vì thế ta thường nối áp kế Mac Leod đo áp suất riêng không ngưng tụ.



Hình 11.3. Áp kế Mac Leod.

Một phương án đơn giản hóa của áp kế Mac Leod là chân không kế (còn gọi là Vacustat hoặc Vacuscope) sử dụng trong phòng thí nghiệm để đo áp suất từ 10^{-1} đến $10^2 Pa$.

Để tiến hành đo cần quay thiết bị 90° theo chiều mũi tên. Theo vị trí thủy ngân chuyển từ bình chứa R_1 và R_2 (hình 11.4) đọc thẳng giá trị áp suất trên thang đo.



Hình 11.4. Chân không kế thủy ngân.

11.6. ÁP KẾ NHIỆT

Nếu đốt nóng một dây dẫn đặt trong không gian cho trước bằng dòng điện theo hiệu ứng Joule nhiệt độ cân bằng sẽ được xác định bằng trao đổi nhiệt với môi trường đặt dây dẫn. Trong khí hiếm sự trao đổi nhiệt sẽ được thực hiện bằng bức xạ và bằng đối lưu. Nhiệt lượng trao đổi bằng đối lưu phụ thuộc vào áp suất và nhiệt dẫn của khí. Nhiệt dẫn có thể được coi là không đổi với áp suất đến $5.10^{-1} Pa$, nó thay đổi nếu áp suất nhỏ hơn.

Hiện tượng này được sử dụng để đo áp suất thấp theo hai cách sau đây :

- Đốt nóng sợi đốt bằng dòng điện một chiều và đo nhiệt độ sợi dây. Đây là trường hợp của áp kế cặp nhiệt (hình 11.5).
- Duy trì nhiệt độ sợi dây không đổi và đo dòng điện đốt nóng. Đây là nguyên lý của áp kế Pirani.

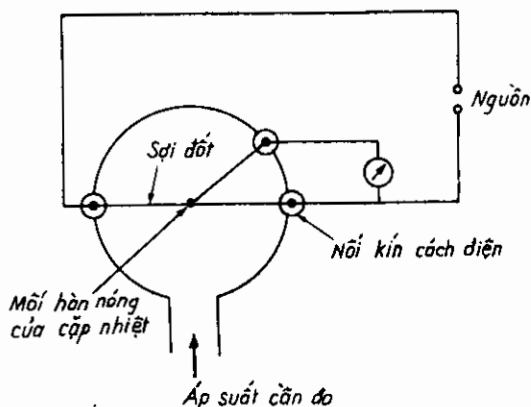
Nhiều phương án sử dụng biến trở nhiệt nhưng thực hiện trong công nghiệp còn chưa đủ tin cậy.

Có một số áp kế có thể đo từ 0,1 Pa đến áp suất khí quyển 10^5 Pa.

Giải pháp tốt nhất là sử dụng sự đối lưu tự nhiên bổ sung thêm vào một áp kế Pirani kinh điển.

Thiết bị tin cậy và cần sử dụng thêm một số áp kế Bourdon, chỉ hạn chế là bắt buộc phải thêm cảm biến đo nằm ngang.

Ở một áp suất cho trước, tổn thất đối lưu phụ thuộc vào nhiệt dẫn của khí, loại khí và do đó độ nhạy của áp kế nhiệt thay đổi tùy theo loại khí. Đây là nhược điểm của áp kế này, nó không được sử dụng như áp kế tuyệt đối. Nói chung nó được định chuẩn với không khí khô bằng cách so sánh với đầu dò MacLeod.



Hình 11.5. Áp kế cặp nhiệt.

Nếu ta mong muốn sử dụng áp kế này cho các loại khí khác nhau cần chỉnh định phép đo để xét đến sự thay đổi độ nhạy có biên độ lớn. Nói chung các nhà chế tạo cho trong tư liệu các hệ số hiệu chỉnh. Chú ý là không nên nội suy các giá trị của các dụng cụ khác nhau. Áp suất nằm giữa 50 và $5 \cdot 10^{-1}$ Pa, các hệ số hiệu chỉnh được cho trong bảng 11.2.

Bảng 11.2.

Hệ số hiệu chỉnh nhiệt với áp kế nhiệt

Khí	Không khí	H ₂	He	Ne	Ar	Kr	Xe	CO ₂
Hệ số hiệu chỉnh	1	1,4	1,1	0,8	0,6	0,4	0,25	0,95

Hệ số hiệu chỉnh bằng tỷ số áp suất đọc/áp suất thực

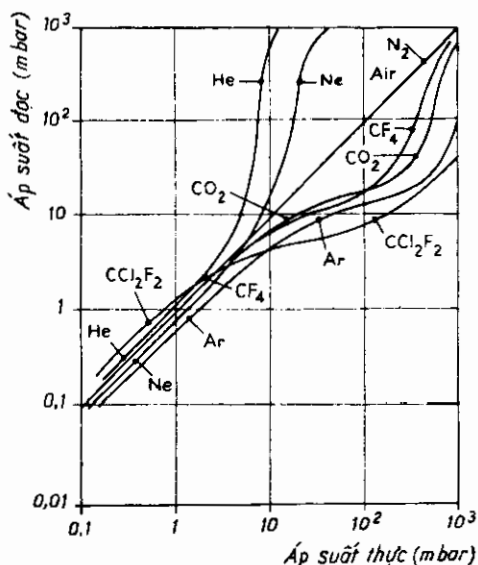
Các áp kế đối lưu thể hiện ở phần áp suất cao các thay đổi đáng kể về độ nhạy với một số khí như hình 11.6. Nếu áp kế này được sử dụng để tác động các cơ cấu tự động hoặc thiết bị an toàn cần được kiểm tra nghiêm túc.

Áp kế Pirani nhạy hơn áp kế cặp nhiệt nhưng đắt hơn. Dải đo của áp kế Pirani nói chung rộng hơn dải đo của áp kế cặp nhiệt nhưng ngược lại nó thích ứng tốt hơn với đo lường chính xác và cùng một sử dụng có một số mô hình với áp suất khí quyển.

Về nguyên tắc áp kế nhiệt chịu ảnh hưởng rất nhiều của biến thiên nhiệt độ, do vậy cần lưu ý sử dụng.

Áp kế nhiệt có thời gian đáp ứng tương đối dài, có thể tới 1 giây so với áp kế

Pirani chỉ từ 0,05 đến 0,2 giây. Mặc dù có nhược điểm này áp kế cặp nhiệt vẫn không thể thay thế được trong khoảng từ 10^{-1} đến 10^2 Pa. Nó rất chắc chắn, thích ứng với môi trường công nghiệp.



Hình 11.6. Sự thay đổi độ nhạy của áp kế đối lưu theo loại khí.

11.7. ÁP KẾ ION HÓA

Các áp kế nghiên cứu ở trên không có khả năng đo áp suất dưới 10^{-2} Pa. Để đo áp suất thấp hơn ta sử dụng áp kế ion hóa. Trong áp kế này người ta gây ion hóa chất khí (plasma) bằng các phương tiện khác nhau :

- Bắn phá điện tử vào các phân tử khí
- Điện trường một chiều điện áp cao.

Dòng các ion được tập hợp bằng một điện cực. Nếu áp suất trong đầu đo tương đối thấp để các ion chạy trong chế độ phân tử, nghĩa là quãng đường trung bình của các ion lớn hơn khoảng cách giữa các điện cực nhiều.

Thiết bị sử dụng hiện tượng ion hóa là một ống phóng điện. Nó gồm hai đĩa kim loại khoảng cách vài centimet trong một bóng thủy tinh. Hai đĩa được nối với hai điện cực có điện áp từ 1,5 đến 2 kV và gây ra phóng điện huỳnh quang trong áp suất từ 10^3 và 1 Pa.

Về nguyên tắc có khả năng đánh giá áp suất bằng cách đo chiều dài vùng tối, nhưng thường sử dụng ống phóng điện hai trạng thái để kiểm tra áp suất dưới 1 Pa. Đèn hiệu sẽ tắt trong trường hợp này thường gọi là bơm chân không khóa đèn hiệu. Màu ánh sáng phóng điện đặc trưng cho loại khí, cho phép biết thành phần khí hoặc phát hiện khí rò.

Các màu đặc trưng cho khí là :

- | | |
|------------|--------------|
| - oxy | vàng chanh |
| - nitơ | đỏ tía |
| - rượu | da trời sáng |
| - hơi nước | trắng sữa |
| - argon | da trời tím |
| - neon | đỏ |
| - hidro | da trời |

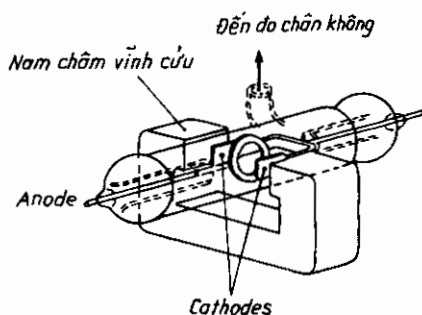
Ống phóng điện có xu hướng không còn được sử dụng làm áp kế nhiệt nữa.

11.7.1. Áp kế Penning

Phát minh năm 1937 trong phòng thí nghiệm của hãng Philips, có nguyên lý được trình bày trên hình 11.7.

Hai catot được nối về điện và hình thành điện áp từ 1500 đến 2000 V giữa catot và anot hình ống ở giữa. Cách bố trí điện cực này gây các dao động của các hạt mang điện và làm tăng hành trình của nó. Do từ trường xếp chồng làm biến đổi quỹ đạo điện tử thành hình xoắn ốc và làm tăng hành trình này.

Áp kế Penning còn được gọi là áp kế ion hóa catot nguội, có thể được coi như một ống phóng điện trong



Hình 11.7. Áp kế Penning.

đó người ta đo dòng phóng điện. Sự ion hóa được duy trì ở áp suất nhờ xếp chồng điện trường và từ trường. Áp kế Penning chắc chắn, không nhạy với sự thay đổi đột ngột của khí và được sử dụng đo áp suất từ 10^{-1} đến 10^{-5} Pa.

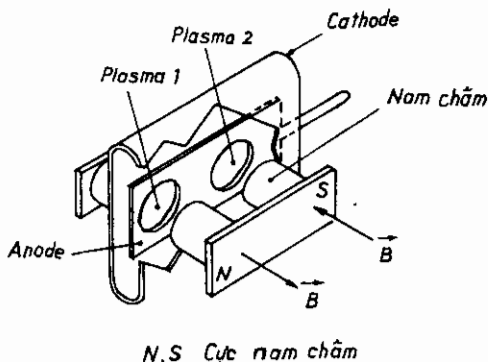
Nó bị khử khí và làm rối loạn phép đo ở chân không rất thấp. Khi có không khí bắn nó bị ô nhiễm dễ dàng và chỉ các áp suất quá thấp.

Để khắc phục nhược điểm này người ta đã phát hiện một áp kế có hai plasma đặt kế tiếp nhau (hình 11.8). Ngoài ra cách bố trí này khắc phục được sự không ổn định về điện không tránh khỏi khi sử dụng phóng điện, nó ít bị bắn. Trong không khí ô nhiễm plasma đầu tiên đóng vai trò một cái bẫy ion và bảo vệ plasma thứ hai do vậy phép đo vẫn đáng tin cậy.

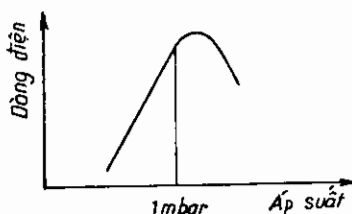
Đặc tính áp suất - dòng điện của áp kế ion hóa catot nguội không tuyến tính, đặc biệt ở phần áp suất cao, bởi vì dòng điện qua cực đại khi áp suất tăng rồi giảm đi (hình 11.9), vì thế phép đo có thể gây sai số lớn. Nên bổ sung thêm một áp kế ví dụ áp kế nhiệt cho phép tránh sai số. Vấn đề này đặc biệt quan trọng trong các hệ thống tự động điều chỉnh xuất phát từ đo áp suất.

11.7.2. Áp kế đèn ba cực (đầu đo catot nóng)

Trong các áp kế đèn ba cực ion hóa người ta tạo ra plasma bằng cách sử dụng sợi đốt phát xạ điện tử, do vậy còn gọi là đầu đo catot nóng, trái với catot nguội trong áp kế Penning.



Hình 11.8. Áp kế ion hóa kép.



Hình 11.9. Đặc tính áp suất - dòng điện của đầu đo ion hóa catot nguội.

Lấy tên áp kế đèn ba cực bởi vì nó xuất phát từ một đèn ba cực. Trước đây không có khả năng đo áp suất nhỏ hơn 10^{-5} Pa vì vấp phải khó khăn tạo nên áp suất siêu cao. Phải đợi đến năm 1958 do phát minh đầu đo của Bayard và Alpert mới có khả năng đo chính xác và tạo nên áp suất đến khoảng 5.10^{-9} Pa.

Sơ đồ nguyên lý của đầu đo Bayard và Alpert được biểu diễn trên hình 11.10. Cũng như các đầu đo đèn ba cực nó gồm các bộ phận chính sau đây :

- Một sợi đốt, được đốt nóng ở nhiệt độ cao (khoảng 800°C) với thế đất, là bộ phận phát xạ điện tử.
- Một lưới hình trụ cơ điện áp khoảng 200 V dùng để gia tốc điện tử, làm chúng dao động để kéo dài quỹ đạo trung bình.
- Một sợi đốt mảnh đặt ở giữa lưới cơ điện thế âm vào khoảng 20 V dùng để thu các ion.

Các ion được tạo nên chủ yếu ở phía trong lưới và đẩy các ion về phía cực gòp. Điều khác biệt chủ yếu của đầu đo này so với đầu đo Penning là có thể điều chỉnh và kiểm tra thường xuyên vì áp kế Bayard và Alpert rất chính xác và trung thực. Vì vậy nó dùng để đo áp suất thấp từ 10^{-2} đến 10^{-8} Pa. Ngược lại nó không chắc chắn bằng áp kế Penning vì có tồn tại sợi đốt (có thể bị cháy đứt nếu khí vào đột ngột) và cấu trúc cơ khí khá mảnh. Cũng có một số đầu đo có sợi đốt không cháy đỏ.

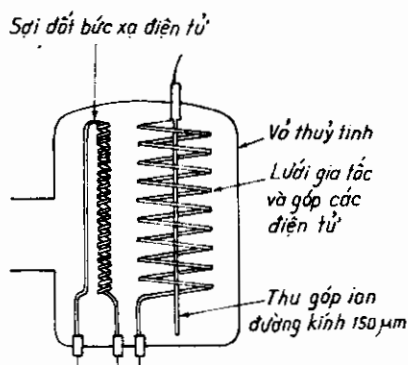
Áp kế Bayard và Alpert là dụng cụ thường được sử dụng để đo chân không với áp suất dưới 10^{-5} Pa, nơi sự khử khí đóng vai trò quan trọng.

Để không làm rối loạn áp suất khi đo áp kế đo siêu chân không phải có bề mặt càng nhỏ càng tốt và được chế tạo bằng vật liệu chịu khí ở nhiệt độ rất cao (Mo, Wf). Cũng cần phải lắp ráp đúng, ống nối phải có độ dẫn đủ vì đầu đo có lưu lượng không đáng kể (có thể đạt tới 0,1 đến 0,2 trong một số trường hợp). Cũng cần tránh cảm biến đặt ở các nguồn có thể gây ô nhiễm cũng như trong từ trường làm thay đổi độ nhạy của áp kế.

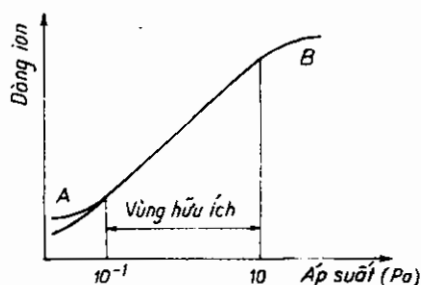
Đường cong biến thiên dòng điện ion hóa theo áp suất được biểu diễn trên hình 11.11. Ta nhận thấy với áp suất rất thấp cảm biến không còn tuyến tính và xuất hiện vùng bão hòa (vùng A trên hình 11.11). Hạn chế này do hai hiện tượng : phát xạ tia X của lưới do thường xuyên bị điện tử bắn phá. Tia X này khi đạt tới cực gòp làm bật các điện tử sinh ra hiện tượng tương tự sự thu gòp các ion dương. Ngoài ra còn do hiệu ứng quang điện (phát tia tử ngoại do sợi đốt), gây ra hiện tượng

giống như tia X gây ra. Hai hiện tượng này xuất hiện ngẫu nhiên vì chúng phụ thuộc nhiều vào trạng thái của bề mặt cực góp nên rất khó đo áp suất dưới 10^{-8} Pa bằng đầu đo Bayard và Alpert.

Để khắc phục cần giảm dòng ký sinh tia X và tia tử ngoại do sợi đốt tạo nên.



Hình 11.10. Đầu đo ion hóa Bayard và Alpert.



Hình 11.11. Đặc tính dòng điện - áp suất.

Giải pháp thứ nhất là tăng độ nhạy của đầu đo bằng cách xếp chồng từ trường làm kéo dài quỹ đạo của điện tử, do đó tăng xác suất ion hóa. Ta đi đến đầu đo magnetron catot nóng. Cũng theo tinh thần này xuất phát từ đầu đo Penning catot nguội ta tăng điện áp đặt vào, rồi cũng sử dụng cấu trúc magnetron như Redhead đã thực hiện vào năm 1960. Các loại đầu đo này do diện tích bề mặt sử dụng lớn và cấu trúc kín, cũng có những nhược điểm quan trọng làm thay đổi độ chân không đo được. Các cảm biến này có độ nhạy cao, đo được đến 10^{-11} Pa, nhưng ít tin cậy vì sự khử khí bản thân đầu đo và tốc độ bơm lớn.

- Giải pháp thứ hai là thay đổi kích thước của đầu đo Bayard và Alpert bằng cách bố trí cực góp ion để không nhận tia X do lưới và tia tử ngoại do sợi đốt phát ra.

Ta đi đến đầu đo có cực góp ẩn Groszkowski biểu diễn trên hình 11.12. Nhiều nhà chế tạo đã dựa trên nguyên lý này và đưa ra các đầu đo trung gian đo các áp suất từ 10^{-7} đến 10^{-10} Pa.

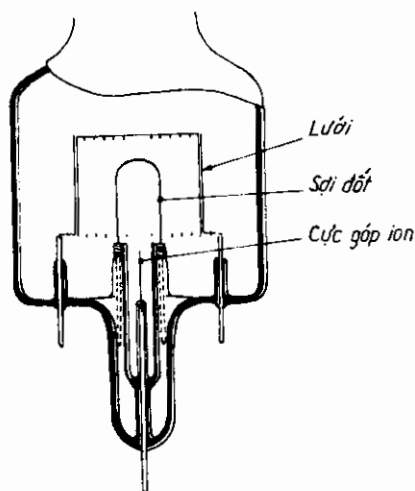
Cũng với ý tưởng này Blechschmidt đã chế tạo đầu đo có tia phản xạ, đạt được giới hạn đo tới 10^{-11} Pa. Trong sơ đồ hình 11.13 cũng giảm được sai số do do sự bắn phá điện tử vào lưới những lưới không ẩn mà thực hiện việc chọn lựa các ion do sử dụng bộ phân tách tĩnh điện (điện cực C và D trên hình 11.13) do vậy chỉ cho phép các ion có năng lượng đủ đến được cực góp.

Ở áp suất cực thấp, rất ít sử dụng ta phải chú ý không sợi đốt phát điện tử quá nóng, bởi vì áp suất hơi bão hòa của vật liệu làm sợi đốt rất thấp hơn áp suất cần do.

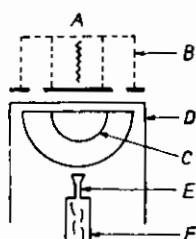
Việc đáp ứng cho áp kế ion hóa các nguồn điện tử nguội sử dụng trong kính hiển vi điện tử mặc dù có hứa hẹn nhưng vẫn còn bị hạn chế. Các nguồn điện tử nguội trong công nghệ hiện nay rất nhạy với các khí ăn mòn.

Một giải pháp khác của áp kế ion hóa là đầu đo Schulz - Phelp có các điện cực rất gần nhau cho phép sử dụng đến 10^2 Pa. Áp kế này thường được sử dụng cho phép đo tin cậy cao, nhưng độ nhạy phụ thuộc vào kích thước đầu đo rất nhiều.

Các áp kế ion hóa catot nóng do có sợi đốt nên ít bền hơn đầu đo Penning, vẫn thường gặp trong công nghiệp.



Hình 11.12. Đầu đo cực góp ẩn Groszkowski.



- A sợi đốt wonfram
- B lưới (anot)
- C điện cực phân xạ
- D ống chuẩn trực
- E cực góp ion
- F bộ nhân điện tử

Hình 11.13. Đầu đo Blechschmidt.

11.7.3. Hiệu chỉnh áp kế ion hóa

Các áp kế ion hóa có độ nhạy thay đổi theo loại khí. Cần thận trọng đo áp suất trong bình chứa, chỉ có phân tích các khí mới dẫn đến kết quả có ý nghĩa khoa học.

Nếu đã biết loại khí chứa trong bình ta có thể hiệu chỉnh phép đo, bởi vì độ nhạy của một đầu đo ion hóa tỷ lệ với tiết diện hiệu quả của

ion hóa chất khí. Bảng 11.3 cho thấy độ nhạy biến thiên rất nhiều theo loại khí.

Bảng 11.3.

Hệ số độ nhạy đối với áp kế ion hóa

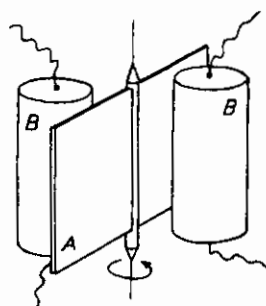
Khí	N ₂	He	Ne	Ar	Xe	H ₂	CO ₂	C ₂ H ₆	C ₄ H ₁₀	C ₂ H ₂
Hệ số độ nhạy	1	0,22	0,36	1,34	2,5	0,5	1,35	2,6	4	0,62

Để sử dụng các hệ số này cần chia áp suất đọc được cho độ nhạy.

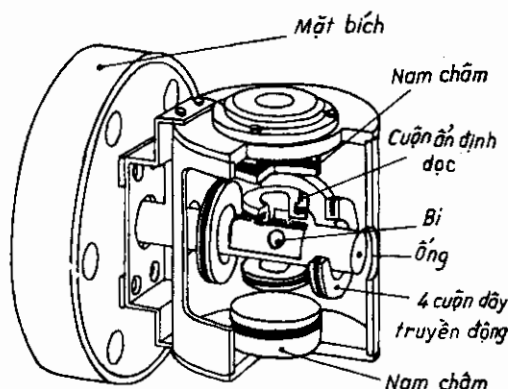
11.8. ÁP KẾ NHIỆT PHÂN TỬ VÀ PHÂN TỬ

Các nghiên cứu về độ nhớt chất khí và lực nhiệt phân tử do Dewar tiến hành từ 1907 đã lôi cuốn nhiều nhà nghiên cứu vì ứng dụng thuyết động năng chất khí có thể tiếp cận trực tiếp tới áp suất. Áp kế tuyệt đối phổ biến nhất là của Knudsen (1910) tuy chỉ hấp dẫn về mặt nguyên lý.

- Vì áp kế tuyệt đối Knudsen gồm một phần động A ở nhiệt độ T_0 được treo bởi một dây xoắn hai thành B ở nhiệt độ T_1 (hình 11.14).



Hình 11.14. Áp kế nhiệt phân tử Knudsen.



Hình 11.15. Áp kế bi.

Khoảng cách giữa A và B là nhỏ và ta có $T_1 > T_0$. Để hiểu hoạt động của thiết bị ta hãy hình dung một nửa phần A' và một thanh B. Phần động A' bị bắn phá trên một mặt bằng các phân tử có tốc độ trung bình bình phương v_0 ứng với T_0 và trên mặt kia bởi các phân tử đến từ B có tốc độ v_1 lớn hơn, ứng với nhiệt độ T_1 , do vậy nửa bộ phận A' cách xa B. Như vậy sơ đồ là không đối xứng, tạo nên mômen làm A

quay. Knudsen đã chứng minh rằng các lực đặt lên phần động đối với $(T_1 - T_0)/T_0$ không đối tỷ lệ thuận với áp suất và không phụ thuộc vào loại khí. Áp kế này tạo nên một mẫu trong khoảng từ 1 đến 10^{-6} Pa. Nhược điểm chính của nó là tương đối kém chắc chắn và đặc biệt nhạy với các chấn động do vậy sử dụng tương đối khó.

Một phương án khác của vi áp kế sử dụng lực nhiệt phân tử do R.Évrand thực hiện năm 1964. Đó là đầu đo treo nghịch từ. Một đĩa cacbon được nâng bằng đòn bẩy nhờ một nam châm điện. Do ảnh hưởng của lực nhiệt hạt nhân, chịu thay đổi liên tục của tốc độ.

Ở đây gia tốc tỷ lệ với áp suất. Dụng cụ này được thực hiện chủ yếu bằng tay, hiện nay được thay thế bằng áp kế phân tử bi quay hay còn gọi là áp kế độ nhớt (Spinning Rotor Viscosity Gauge), (hình 11.15). Trong áp kế này một viên bi kim loại 4,5 mm được nâng bằng từ, trong một ống nối với buồng chân không và quay với 24000 *vg/ph*. Sự giảm tốc của bi sau khi ngừng truyền động tỷ lệ với áp suất và loại khí.

Áp kế này dùng làm mẫu thử cấp trong dải áp suất 10^{-5} đến 1 Pa. Nó được sấy đến 400°C và có thể bị khử khí. Áp kế này được sử dụng đối với khí ít ăn mòn.

11.9. ĐO ÁP SUẤT RIÊNG PHẦN

11.9.1. Máy phân tích khí

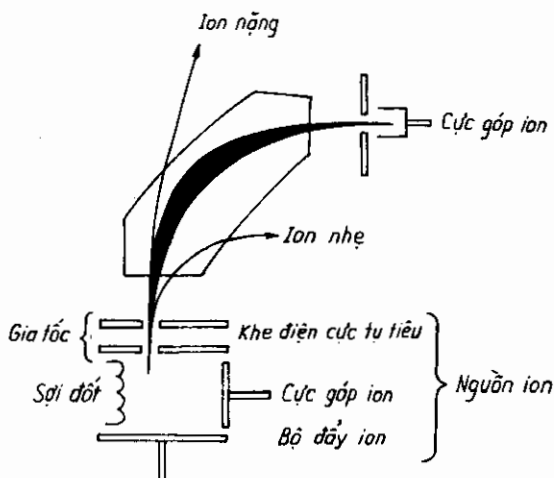
Phổ kế khối lượng là thiết bị lựa chọn các phân tử theo khối lượng của nó. Để tiến hành người ta tác động lên các ion, trong đó quỹ đạo của chúng trong trường điện từ được xác định bằng giá trị của trường này, năng lượng của các ion và tỷ số khối lượng của ion theo điện tích của nó m/q . Ta nhận thấy rằng trong một trường cho trước quỹ đạo của ion chỉ được xác định bằng tỷ số m/q .

Phổ kế khối lượng gồm hai phần chính là : nguồn ion và hệ thống phân tích. Trong thiết bị đo áp suất riêng nguồn ion là kiểu catot nóng và điện áp gia tốc thay đổi. Sau hệ thống phát sinh ion thường sử dụng hai kiểu hệ thống phân tích :

- Phổ kế làm lệch bằng từ;
- Máy phân tích bốn cực.

- Trong phổ kế làm lệch bằng từ ta trích các ion đến từ nguồn phát ion vào trong từ trường vuông góc với quỹ đạo ban đầu (hình 11.16). Từ trường làm cong quỹ đạo của các hạt được mô tả bằng một cung của đường tròn có bán kính thay đổi theo khối lượng. Nếu tỷ số m/q càng lớn thì bán kính càng lớn.

Để thuận tiện chế tạo, máy phân tích làm lệch bằng từ hoạt động với một khe vào và một khe ra cố định sao cho xác định một bán kính quỹ đạo không đổi. Việc phân tích được thực hiện bằng cách thay đổi điện áp gia tốc của buồng ion hóa hoặc bằng cách sử dụng một nam châm điện để làm thay đổi từ trường. Giải pháp



Hình 11.16. Máy phân tích phổ khối lượng làm lệch bằng từ.

thứ nhất được sử dụng phổ biến trong máy phân tích khí tồn dư vì ít tốn kém hơn sử dụng nam châm điện. Tuy nhiên phổ của nó không tuyến tính khoảng cách giữa hai điểm nhọn càng bé khi m/q càng lớn.

- Sự hoạt động của máy phân tích bốn cực (hình 11.17) không rõ ràng bằng kiểu đã trình bày ở trên. Các thanh có liên hệ về điện từng đôi một được cung cấp bằng điện áp một chiều V_0 , xếp chồng với một điện áp xoay chiều $V_1 \cos \omega t$; Điện áp này gây dao động trong plasma bơm vào để chỉ các ion với tỷ số m/q đã cho giữ quỹ đạo ổn định và ra bằng khe đầu ra. Các ion khác cách xa trục của chùm tia và được các thanh hình trụ góp lại.

Không phụ thuộc vào kiểu máy phân tích, sau khi chọn các ion được điện cực nối với một điện kế hoặc bộ nhân điện tử thứ cấp đón nhận khi áp suất cần đo rất thấp.

Trong kỹ thuật chân không rất ít khi cần tìm các vật có tỷ số m/q lớn hơn 300, vì thế bộ lọc chất bốn cực dễ đáp ứng và có chiều hướng trở thành bộ phân tích thông dụng nhất. Kiểu kết cấu của nó dễ đáp ứng cho công nghệ chân không siêu cao và cho các phổ có các đỉnh phân bố đều, trong khi đó các máy phân tích phổ từ có xu hướng làm các

đỉnh nhọn ứng với khối lượng lớn siết chặt lại.

Ngày nay về tính năng và giá thành đều thuận lợi cho phổ kế bốn cực. Giới hạn của tất cả thiết bị là $1.10^{-2} Pa$ ở áp suất cao và 1.10^{-12} và 2.10^{-12} đối với áp suất tối thiểu cần đo, cho phép đo nồng độ tạp chất vào khoảng 0,1 ppm.

Để phân tích với tốc độ cao các máy phân tích thời gian bay bốn cực cho 1000 phổ trong một giây.

Nguyên lý giải điều các chất rất đơn giản : người ta gia tốc ion trong khoảng thời gian rất ngắn (vài nanogiây) và đo thời gian bay của các ion giữa đầu ra của nguồn và cực góp. Các ion gia tốc có cùng năng lượng thời gian bay của chúng phụ thuộc trực tiếp vào khối lượng.

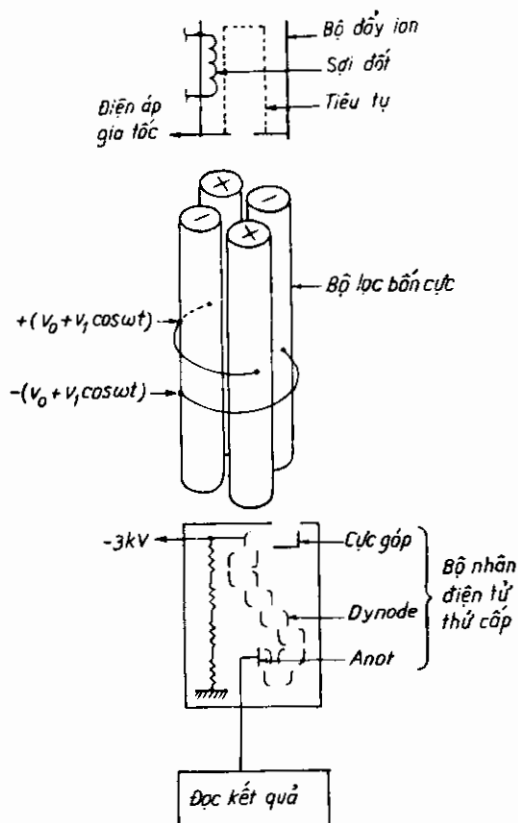
11.9.2. Phân tích kết quả đo

Cần hết sức thận trọng trong phân tích kết quả do một phổ vì ngoài một số ngoại lệ không có quan hệ một một giữa một chất hóa học và đỉnh phổ đo được.

Ta lấy ví dụ trường hợp $m/q = 28$ (m là đơn vị khối lượng nguyên tử). Chiều cao của đỉnh tương ứng là tổng đóng góp của các thành phần sau đây :

Nitơ (N_2); oxyt cacbon (CO); etan (C_2H_4), rõ ràng trong trường hợp này tương đối khó phân tách phần đóng góp của từng thành phần.

Bảng 11.4 nêu tỷ số m/q của các chất thường gặp trong hệ thống chân không.



Hình 11.17. Máy phân tích bốn cực.

Tỷ số m/q của một số chất

Chất	m/q
Phân tử hidro	2
Heli	4
Cacbon	12
Nguyên tử nitơ	14
Hơi nước	18
Neon	20
Phân tử nitơ	28
Phân tử oxy	32
Argon	40
Anhydride cacbonique	44

m khối lượng; q điện tích của ion

Đa số các chất thường gặp khi phân tích có các phân tử phức tạp, do đó sự ion hóa cho nhiều loại ion khác nhau.

Phổ của một chất tinh khiết gồm nhiều đỉnh ứng với một kiểu ion :

- ion đơn (ít nhất một điện tử).
- ion nhiều điện tích (có hai hoặc nhiều điện tử tách ra)
- phần dư phân tích bằng cracking.

Trong bảng 11.5 cho phổ của một số chất ô nhiễm.

Bảng 11.5.

Phổ của một số chất

Thành phần	Đỉnh chính	Đỉnh thứ hai
Metan	16	15 (80%)
Amoniac	17	16 (80%)
Diboran	26	27 (97%); 24 (90%); 25 (57%); 23 (46%); 11 (28%)
Etan	28	27 (62%); 26 (56%)
Rượu metylic	31	32 (70%); 29 (50%)
Sunfua hydro	34	32 (44%); 33 (42%)
Rượu etylic	31	45 (50%); 29 (22%); 27 (20%)

Đối với các đỉnh khác cho chiều cao tương đối so với đỉnh chính trong dấu ngoặc

Việc phân tích phổ cho phép tìm được thành phần khí tồn dư. Trong phổ kế khối lượng người ta dùng cơ sở dữ liệu tin học cho phép nhận dạng hàng nghìn phân tử khác nhau.

Cũng như các loại cảm biến ion hóa khi độ nhạy máy phân tích phổ phụ thuộc vào loại khí. Trên đồ thị chiều cao của đỉnh tỷ lệ với loại khí mà không phụ thuộc vào áp suất riêng của khí, do vậy cần xác định khi tính đến độ nhạy của thiết bị với khí này. Trong kỹ thuật chân không người ta có thể bằng lòng với phân tích định lượng trong nhiều trường hợp, nhưng đòi hỏi nhiều thời gian.

11.10. VẤN ĐỀ ĐỊNH CHUẨN

Đa số các áp kế mà ta vừa giới thiệu đo một đại lượng chỉ thể hiện áp suất một cách gián tiếp do vậy cần phải định chuẩn. Nói chung người ta sử dụng hai phương pháp :

- So sánh với áp kế MacLeod đối với các áp suất cao hơn 10^{-2} Pa.
- Dùng phương pháp dẫn nở.

10.10.1. So sánh với áp kế MacLeod

Mặc dù có thể sử dụng phương pháp so sánh nhưng phương pháp này có sai số hệ thống tương đối lớn do ảnh hưởng dòng chảy hơi thủy ngân sinh ra.

Để sử dụng áp kế MacLeod gắn với dụng cụ đo áp suất khác cần giải phóng áp suất hơi bão hòa của thủy ngân. Để làm việc này áp kế MacLeod được dẫn tới một bể lạnh nitơ lỏng để ngưng tụ hơi thủy ngân. Bể này đóng vai trò như một bơm thủy ngân và có dòng hơi thủy ngân từ đầu đo về phía bể.

Các phân tử khí cần đo áp suất khuếch tán trong dòng hơi thủy ngân và một số được kéo dài. Ở đây xảy ra hiện tượng giống như hoạt động của các bơm khuếch tán. Áp suất mà áp kế MacLeod đo thấp hơn áp suất thực và sai số gặp phải tương đối lớn.

Ta có thể sử dụng biểu thức hiệu chỉnh của phòng thí nghiệm Vật lý quốc gia Pháp đối với các áp suất dưới 0,1 Pa :

$$P - P' = P_{Hg} - \frac{2K}{D} \ln \frac{P}{P'} \quad (11.5)$$

D (mm) là đường kính ống nối áp kế với bể

P (Pa) là áp suất thực

P' (Pa) là áp suất đo bằng áp kế Mac Leod

P_{Hg} (Pa) là áp suất hơi thủy ngân bão hòa ở nhiệt độ áp kế.

Hệ số K phụ thuộc vào loại khí và được dẫn ra từ lý thuyết liên quan đến khuếch tán, nó thay đổi theo nhiệt độ khí. Ở 25°C với các loại khí khác nhau hệ số K được cho trong bảng 11.6.

Bảng 11.6.

Hệ số K của các loại khí

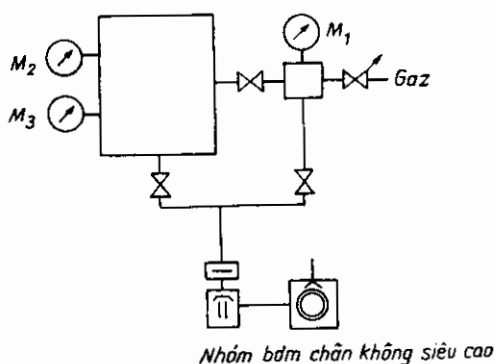
Loại khí	K (Pamm)
N_2	0,123
Ar	0,121
Kr	0,0805
Xe	0,451

Sai số hệ thống càng lớn nếu áp suất càng thấp và có thể tới 80% ở 1 Pa với khí Xe. Ta có thể giảm thiểu bằng cách tiến hành đo trong môi trường không quá 20°C . Việc hiệu chỉnh ít tác dụng với khí nhẹ (He , H_2), khi đó thực tế có thể bỏ qua, nhưng là đáng kể đối với khí nặng. Bằng cách sử dụng kênh nối giữa đầu đo và bẫy có đường kính nhỏ hơn 1 cm ta có thể không cần hiệu chỉnh. Do vậy rất khó nói đến chính định trong điều kiện này. Việc so sánh chỉ cho phép đạt được độ chính xác 10%.

11.10.2. Phương pháp giãn nở

Về nguyên tắc phương pháp giãn nở không khó thực hiện bằng phương pháp so sánh với áp kế Mac Leod, nhưng khi tiến hành cần thận trọng.

Sơ đồ của phương pháp này được cho trên hình 11.18. Một thể tích khí V ở áp suất P (đo bằng áp kế M_1) được giãn nở trong thể tích V lớn hơn, trên đó nối áp kế M_2 và M_3 cần chỉnh định. Áp suất P tăng đủ để



Hình 11.18. Thiết bị chỉnh định bằng phương pháp giãn nở tĩnh.

phép đo được thực hiện với áp kế tuyệt đối (bằng áp kế MacLeod hoặc đầu đo bi).

Việc xác định áp suất P_1 trong thể tích V được thực hiện theo định luật Mariotte

$$P_v = P_1(V + v) \quad (11.6)$$

Biết P_1 cần đo trước V và v không có khó khăn gì, tuy vậy khi áp suất dư trong hệ thống nhỏ hơn P_1 thì việc đo sẽ gặp khó khăn. Để thực hiện mỗi buồng được trang bị một bơm thứ cấp và được chế tạo theo công nghệ chân không siêu cao để giảm thiểu sự thoát khí.

Ngoài ra sai số đo áp suất ban đầu bằng áp kế M_1 là lớn do sai số rối loạn của các thành và do sử dụng khí không lý tưởng. Điều này hạn chế sử dụng phương pháp này đối với các áp suất dưới 1 Pa. Để có thể sử dụng đối với các áp suất thấp hơn gần đây người ta đưa ra phương pháp dẫn nở động. Ngoài ra cũng phải kể đến phương pháp Oatley hay điện dẫn thay đổi cho phép chỉnh định các đầu đo ion hóa ở chế độ dòng chảy phân tử mặc dù lúc đầu cần tiến hành đo lưu lượng của bơm khuếch tán.

Độ chính xác của các phương pháp định chuẩn là :

- Giãn nở tĩnh : $\pm 1\%$
- Giãn nở động : $\pm 5\%$
- So sánh với đầu đo MacLeod $\pm 2\%$
- So sánh giữa các đầu đo ion hóa khác nhau $\pm 20\%$

11.11. HIỆU CHỈNH NHIỆT ĐỘ

Trong khi lắp đặt nhiệt độ của cảm biến áp suất khác với nhiệt độ bình chứa khí cần đo ta mắc sai số hệ thống có thể khá lớn. Sai số này có những nguồn gốc khác nhau tùy theo khí xác lập hay có hơi ngưng tụ. Đầu tiên ta xét hiện tượng khuếch tán nhiệt sau đó xét sự rối loạn do ngưng hơi gây ra.

11.11.1. Sự thoát nhiệt

Ở chế độ phân tử nếu ta xét hai khối ở nhiệt độ T_1 và T_2 khác nhau trong đó một khối ở chế độ phân tử ta có thể chứng minh rằng áp suất P_1 và P_2 trong mỗi bình khác nhau.

Để đơn giản ta chấp nhận kênh nối giữa đầu đo và bình chứa giống một lỗ có thành mỏng do đó ta có :

$$\frac{P_1}{P_2} = \sqrt{\frac{T_1}{T_2}} \quad (11.7)$$

Đặt ΔP là sai số đo $\Delta P = P_2 - P_1$ ta được $\frac{\Delta P}{P_2} = 1 - \sqrt{\frac{T_1}{T_2}}$ (11.8)

Thực tế vấn đề sẽ phức tạp hơn bởi vì kênh nối là kênh thực.

Trong thiết bị có tác động của các mặt làm lạnh ở nhiệt độ thấp hoặc các phân tử ở nhiệt độ cao cần kiểm tra sự thoát nhiệt. Nếu xét một khối ở nhiệt độ xung quanh ($T_1 = 300K$) nối với bình chứa ở nhiệt độ nơơ lỏng, áp dụng công thức ở trên cho thấy áp suất tương ứng với tỷ lệ 2.

Tình hình sẽ phức tạp hơn nếu không thỏa mãn điều kiện của chế độ phân tử. Khi kênh nối áp kế với bình chứa có đường kính ứng với chế độ chảy Knudsen là chế độ trung gian giữa phân tử và chảy nhớt ta có thể sử dụng công tác sau :

$$\frac{\Delta P}{P_2} = \left(1 - \sqrt{\frac{T_1}{T_2}}\right) \frac{1}{Jx^2 + Kx + 1} \quad (11.9)$$

với
$$x = \frac{P_2 \cdot D}{\left(\frac{T_1 + T_2}{2}\right)^{4/3}} \quad (11.10)$$

D (mm) là đường kính của kênh ;

P_2 (Pa) là áp suất của khí ở nhiệt độ T_2 ;

T_1, T_2 (K) là nhiệt độ.

Trị số của J và K được cho trong bảng 11.7.

Bảng 11.7.

Hệ số thoát nhiệt trong chế độ Knudsen

Khí	J	K
He	25	12
Ne	40	12,8
H ₂	76	22,5
Ar	900	75
CO	740	58
N ₂	660	56

Tiếp bảng 11.7

Khí	J	K
Kr	4.300	150
CH ₄	2.800	135
CO ₂	11.300	225
Xe	13.000	285
C ₂ H ₄	34.000	430
SF ₆	17.000	200

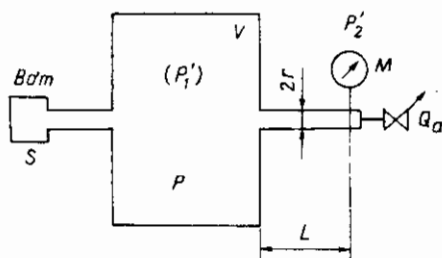
Ta có thể thấy, có mối tương quan tuyến tính giữa $\ln K$ và $\frac{1}{T}$ là đường kính phân tử ở 0°C). Tiếc rằng đặc tính này không được hiểu rõ vì kết quả theo tính toán nhận được từ phép đo độ nhớt.

Các ảnh hưởng do thoát nhiệt thường không biết, do đó trong nhiều trường hợp không bỏ qua được hiệu chỉnh.

Khi bình chứa nhiều hơi gần điều kiện bão hòa có thể gây ngưng tụ hơi này trong đầu đo, nếu nhiệt độ thấp hơn nhiệt độ bình chứa. Điều này thường xảy ra trong khi sấy. Ở giới hạn điều này dẫn đến không thể thực hiện phép đo đúng nếu đường nối có độ dẫn kém. Việc tạo nên chất lỏng trong đầu đo cũng có thể dẫn tới một số bất lợi (ngắn mạch trong áp kế điện tử).

Trong trường hợp này có thể sử dụng phương pháp thoát khí của Gaede. Ta xét thiết bị được biểu diễn trên hình 11.19. Trong khối V có áp suất tổng P và áp suất riêng P' của hơi ngưng tụ. Áp kế M được lắp ở đầu ống dẫn có chiều dài L , bán kính r . Áp suất đủ lớn để các điều kiện chế độ phân tử tự do không xảy ra. Nếu ta đưa một số lượng khí rất ít vào trong ống (phía áp kế) áp suất riêng của hơi ngưng tụ sẽ giảm đến mức áp suất của áp kế, trong đó hơi sẽ bị thay thế bằng không khí, dẫn đến sự khuếch tán của không khí trong hơi.

Gọi Q_a là thông lượng không khí ta có :



Hình 11.19. Đo có thoát khí.

$$\ln \left(\frac{P'_1}{P'_2} \right) = \frac{Q_a L}{\pi r^2 D P} \quad (11.11)$$

với $D \text{ (m}^2 \cdot \text{s}^{-1}\text{)}$ là hệ số khuếch tán của hơi trong không khí đưa vào
 $P'_2 \text{ (Pa)}$ là áp suất ở áp kế

P_1 và P'_1 là áp suất tổng và áp suất riêng trong bình, L và r
 tính bằng mét.

Để không khí đưa vào không làm rối loạn đáng kể phép đo cần có
 lưu lượng $Q_a/S \ll P$; S là lưu lượng của bơm chân không đặt ở bình
 chứa V . Phương pháp này tuy khó thực hiện nhưng cho phép đo mà
 không cần hiệu chỉnh với áp kế nhiệt vì nó được tiến hành trong không
 khí.

11.12. KẾT LUẬN

Các phương pháp đo áp suất cần phù hợp với dải áp suất cần đo
 và đã được tóm tắt trong bảng 11.1. Với sự phát triển của công nghệ
 chế tạo và vật liệu các thiết bị đo chân không đang được phát triển theo
 chiều hướng chung của các dụng cụ đo, đó là phương hướng tích hợp
 trong mạch vi điện tử, đặt càng gần nguồn đo và thông tin với người
 sử dụng bằng kỹ thuật số.

Áp kế nhiệt động hiện đại có độ nhạy tới $\approx 10^{-18} \text{ Pa}$.

Chương 12

CẢM BIẾN PHÁT HIỆN VÀ ĐO ĐỘ ẨM

12.1. KHÁI NIỆM CHUNG

Độ ẩm có mặt khắp mọi nơi trong khí quyển. Ngay cả những nơi rất khô hoặc trong chất khí hóa lỏng cũng có những vệt hơi nước. Việc đo độ ẩm khó khăn hơn việc đo các đại lượng khác như lưu lượng, nhiệt độ, mức và áp suất. Lý do chủ yếu là giới hạn độ ẩm rất rộng từ vài ppm (phần triệu) đến hơi nước ở 100°C. Ngoài ra phép đo độ ẩm nằm trong khoảng nhiệt độ rộng từ -60°C đến 1000°C, có thể có các thành phần ăn mòn và các hạt bẩn hoặc hóa chất. Do vậy có nhiều kỹ thuật và dụng cụ đo độ ẩm khác nhau, vấn đề là cần chọn kiểu cảm biến và phương pháp đo thích hợp đối với từng hoàn cảnh cụ thể.

Độ ẩm đóng vai trò quan trọng đối với cơ thể sống. Trong công nghiệp độ ẩm ảnh hưởng xấu đến đặc tính cách điện của vật liệu và là nguyên nhân chủ yếu dẫn đến sự xuống cấp của thiết bị điện - điện tử. Tuy nhiên nhiều quy trình công nghệ đòi hỏi phải duy trì độ ẩm trong một khoảng thích hợp, ví dụ trong công nghiệp sợi, độ ẩm làm thay đổi đặc tính cơ lý của sợi. Việc bảo quản và chế biến thực phẩm đòi hỏi một độ ẩm thích hợp. Sau đây là một số thông số quan trọng đặc trưng cho độ ẩm.

- Áp suất hơi bão hòa $p_s(T)$ là áp suất hơi nước ở trạng thái cân bằng với nước ở nhiệt độ T . Đây là giá trị lớn nhất mà áp suất riêng phần p_v có thể đạt tới ở nhiệt độ T , trên áp suất này sẽ xảy ra ngưng tụ.

- Độ ẩm tương đối RH% là tỷ số giữa áp suất riêng của hơi nước và áp suất hơi bão hòa ở nhiệt độ T

$$RH\% = \frac{p_v}{p_s(T)} 100 \quad (12.1)$$

- Nhiệt độ tạo sương $T_d(^{\circ}\text{C})$ là nhiệt độ cần phải làm lạnh không khí ẩm xuống tới đó để đạt được trạng thái bão hòa. Đây chính là nhiệt độ sao cho

$$p_v = p_s(T_d) \quad (12.2)$$

- Nhiệt độ ẩm

Nhiệt độ ẩm $T_h(^{\circ}\text{C})$ là nhiệt độ cân bằng của một khối lượng nước hóa hơi và không khí trong trường hợp nhiệt lượng cần thiết để hóa hơi chỉ được trích từ không khí.

12.2. PHÂN LOẠI ẨM KẾ

Các loại ẩm kế có thể được phân chia thành hai loại chính :

- Ẩm kế dựa trên nguyên lý đo tính chất của vật liệu có liên quan đến độ ẩm. Thuộc loại này có ẩm kế biến thiên trở kháng, ẩm kế tinh thể thạch anh.

- Ẩm kế dựa trên nguyên lý vật lý cho phép xác định trực tiếp độ ẩm. Thuộc loại này có ẩm kế ngưng tụ, ẩm kế điện ly...

Các thông số của không khí ẩm và loại ẩm kế thích hợp để đo chúng được liệt kê như sau :

- Độ ẩm tương đối RH được đo bằng ẩm kế biến thiên điện trở và biến thiên điện dung.

- Nhiệt độ sương T_d được đo bằng ẩm kế ngưng tụ, ẩm kế hấp thụ, ẩm kế oxit nhôm, ẩm kế điện ly.

- Nhiệt độ ẩm T_h đo bằng psychromet.

Trước khi lựa chọn ẩm kế cần phải biết thông số chính cần đo để chọn thiết bị cho phép đo với sai số nhỏ nhất.

12.3. ẨM KẾ BIẾN THIÊN TRỞ KHÁNG

Phần tử nhạy của ẩm kế là chất hút ẩm. Tính chất điện (điện trở, điện dung) của đầu đo phụ thuộc vào độ ẩm của môi trường. Các phần tử nhạy có kích thước nhỏ để thời gian hồi đáp giảm.

Các chất hút ẩm có khả năng hút nước phụ thuộc vào độ ẩm tương đối của không khí. Đầu đo độ ẩm có đặc tính điện là hàm của lượng nước hấp thụ, hàm này phải ổn định theo thời gian, có tính chất thuận nghịch và tuyến tính.

Cảm biến độ ẩm dựa trên nguyên lý biến thiên trở kháng được phân thành ba nhóm chính :

- Ấm kế điện trở
- Ấm kế tụ điện điện môi polyme
- Ấm kế tụ điện điện môi oxit nhôm Al_2O_3

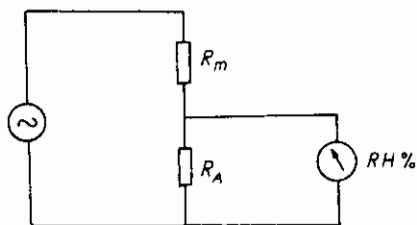
12.3.1. Ấm kế điện trở

Trong ấm kế điện trở dùng chất hút ẩm phủ lên đế có kích thước nhỏ (vài mm^2). Trên đế này cũng đồng thời phủ thêm hai điện cực bằng kim loại không bị oxy hóa. Thực tế điện trở của ấm kế R_m phụ thuộc đồng thời vào độ ẩm tương đối và nhiệt độ. Có thể bù ảnh hưởng của nhiệt độ bằng cách mắc điện trở R_1 nối tiếp với R_m và có cùng hệ số nhiệt với R_m (hình 12.1).

+ Các thông số chính của ấm kế điện trở :

- Dải đo độ ẩm từ 15% đến 99%,
- Dải nhiệt độ từ -10° đến $60^\circ C$,
- Độ chính xác $\pm 2\%$,
- Thời gian hồi đáp ~ 10 s,
- Kích thước nhỏ, giá thành thấp,

- Ít chịu ảnh hưởng ô nhiễm của môi trường do đó thường dùng trong môi trường công nghệ trừ những nơi có nồng độ hóa chất và ăn mòn cao.



Hình 12.1. Mạch đo độ ẩm điện trở.

12.3.2. Ấm kế tụ điện polyme

Ấm kế tụ điện sử dụng điện môi là một màng mỏng polyme có khả năng hấp thụ phân tử nước. Hằng số điện môi ϵ của lớp polyme thay đổi theo độ ẩm, do đó điện dung của tụ điện polyme phụ thuộc vào ϵ , tức là phụ thuộc vào độ ẩm :

$$C = \frac{\epsilon \epsilon_0 A}{L} \quad (12.3)$$

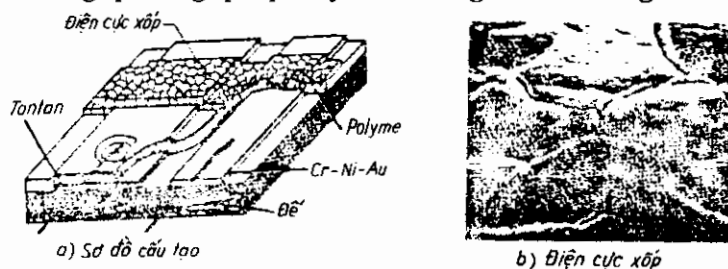
ở đây ϵ - hằng số điện môi của màng polyme

ϵ_0 - hằng số điện môi chân không ($\epsilon_0 = 8,85 \cdot 10^{-12} F/m$)

A - diện tích bản cực

L - chiều dày của màng polyme.

Vì phân tử nước có cực tính cao, ngay cả khi hàm lượng ẩm rất nhỏ cũng dẫn tới sự thay đổi điện dung rất nhiều. Hằng số điện môi tương đối của nước là 80 trong khi đó vật liệu polyme có hằng số điện môi từ 2 đến 6 vì vậy ẩm kế tụ điện polyme có độ nhạy cao. Hình 12.2 là cấu tạo của tụ điện polyme. Lớp polyme được phủ trên điện cực thứ nhất bằng tantan, sau đó là lớp Cr dày 100 Å ÷ 10000 Å được phủ tiếp lên polyme bằng phương pháp bay hơi trong chân không.



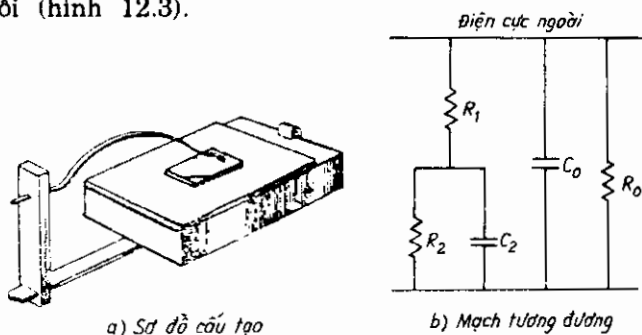
Hình 12.2. Cấu tạo tụ điện polyme.

Các thông số chủ yếu của ẩm kế tụ điện polyme là :

- Phạm vi đo từ 0% đến 100%
- Dải nhiệt độ -40°C đến 80 hoặc 100°C
- Độ chính xác $\pm 2\%$ đến $\pm 3\%$
- Thời gian hồi đáp vài giây
- Ít chịu ảnh hưởng của nhiệt độ, phần tử nhạy có thể nhúng vào nước mà không bị hư hỏng.

12.3.3. Ẩm kế tụ điện Al_2O_3

Ẩm kế tụ điện có điện môi Al_2O_3 được chế tạo bằng phương pháp anot hóa tấm nhôm và tấm nhôm là điện cực thứ nhất của tụ điện. Điện cực thứ hai là một màng kim loại mỏng được chế tạo trên mặt kia của lớp điện môi (hình 12.3).



Hình 12.3. Ẩm kế tụ điện Al_2O_3 .

Nếu chiều dày lớp Al_2O_3 nhỏ hơn $0,3 \mu$ thì sự thay đổi điện dung chỉ phụ thuộc vào áp suất riêng phần của hơi nước mà không phụ thuộc vào nhiệt độ, do đó có thể đo độ ẩm tuyệt đối của môi trường.

Các đặc tính chính của ẩm kế tụ điện Al_2O_3 là :

- Cho phép đo nhiệt độ điểm sương T_d trong phạm vi từ -80°C đến $+70^\circ\text{C}$
- Có kích thước nhỏ thích hợp đo trực tiếp tại điểm cần đo.
- Thời gian hồi đáp khoảng vài giây.
- Làm việc trong dải áp suất rất rộng từ chân không đến hàng trăm bar.

Các hạn chế của ẩm kế tụ điện Al_2O_3 là :

- Cảm biến oxit nhôm là thiết bị đo thứ cấp nên phải định kỳ định chuẩn vì sự già hóa trẻ và ô nhiễm làm thay đổi cỡ đo.
- Cảm biến không đồng nhất, phi tuyến, cần phải định chuẩn riêng cho từng cảm biến.
- Cần sử dụng trong môi trường tránh bị ăn mòn vì môi trường có hoạt tính cao có thể ăn mòn nhôm, làm cho phần tử nhảy của ẩm kế bị hư hỏng.

12.4. ẨM KẾ ĐIỆN LY

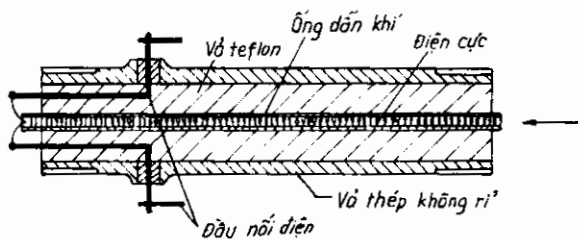
12.4.1. Nguyên lý làm việc

Ẩm kế điện ly dùng để đo lượng hơi nước rất nhỏ trong không khí hoặc trong các chất khí. Phần tử nhạy của ẩm kế là một ống dài khoảng 10 cm (hình 12.4).

Trong ống cuốn hai điện cực bằng platin hoặc rodi, giữa chúng là lớp P_2O_5 . Khi chất khí nghiên cứu chạy qua ống đo hơi nước bị lớp P_2O_5 hấp thụ và hình thành H_2PO_3 . Đặt điện áp một chiều cỡ 70V giữa hai điện cực sẽ gây hiện tượng điện phân nước và giải phóng O_2 , H_2 và tái sinh P_2O_5 .

Dòng điện điện phân $I = k C_v$, tỷ lệ với nồng độ hơi nước C_v trong

đó $k = \frac{96500}{9 \cdot 10^3} \alpha \cdot Q_c$, Q_c là lưu lượng khí đi qua đầu đo (m^3/s).



Hình 12.4. Cấu tạo của ẩm kế điện ly.

12.4.2. Các đặc tính của ẩm kế điện ly P_2O_5

- Ẩm kế điện ly đặc biệt thích hợp với các chất khí chứa lượng hơi nước rất nhỏ. Giới hạn dưới của dải đo bị hạn chế bởi các vấn đề hấp thụ và nhả hơi nước trên đường dẫn khí.

Mặc dù sử dụng ống dẫn khí bằng thép không gỉ, hiện tượng hấp thụ vẫn làm tăng thời gian cần thiết để đạt tới trạng thái cân bằng. Thời gian hồi đáp phụ thuộc chủ yếu vào chiều thay đổi độ ẩm.

- Theo chiều tăng độ ẩm (giữa 100 và 1000 ppm) thời gian hồi đáp nhỏ hơn 30 s;

- Theo chiều giảm độ ẩm (giữa 1000 và 100 ppm) thời gian hồi đáp tăng lên và có thể đạt tới vài phút. Độ chính xác $\pm 5\%$.

- Chất P_2O_5 được tự động tái sinh thường xuyên. Tuy vậy thời gian hoạt động của lớp này có giới hạn cho nên cần phải tái sinh nó theo chu kỳ. Tần số tái sinh phụ thuộc vào điều kiện sử dụng và độ sạch của chất khí phân tích.

- Ẩm kế điện ly được sử dụng để đo độ ẩm của nhiều loại khí như nitơ, hydro, metan, CO_2 , các chất khí làm lạnh (freon), không khí... Một số chất khí như amôniac, hơi rượu không dùng được với ẩm kế điện ly vì chúng làm hư hỏng đầu đo hoặc làm thay đổi hoạt động của nó chúng tác dụng với P_2O_5 .

Để nhận được kết quả chính xác lưu lượng dòng khí qua đầu đo phải không đổi và biết trước. Vì cảm biến tương ứng với tổng hàm lượng nước đi vào do đó việc tính toán độ ẩm phụ thuộc vào thể tích không khí khô. Sai số lưu lượng khí ảnh hưởng trực tiếp đến kết quả đo.

- Áp suất mẫu tối thiểu là 10 psig ($1,7 \text{ kg/cm}^2$) tới 100 psig (8 kg/cm^2) cảm biến này có áp suất cao. Thường bố trí bộ lọc đặt phía trước để tránh đầu đo bị nhiễm bẩn.

- Ứng dụng chủ yếu của ẩm kế điện ly trong việc đo độ ẩm trong không khí khô trong công nghiệp chế tạo linh kiện điện tử, trong đo lường khí tự nhiên mặc dù cần phải bảo dưỡng chu đáo.

12.5. ẨM KẾ HẤP THỤ

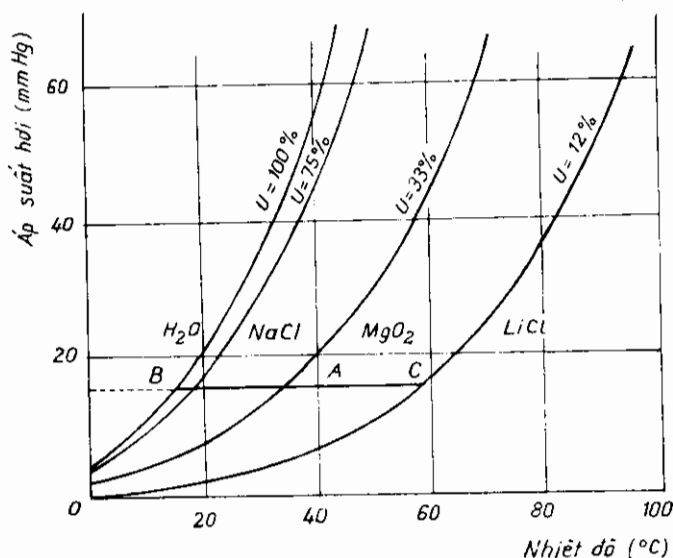
12.5.1. Nguyên lý

Nguyên lý đo độ ẩm dùng ẩm kế hấp thụ dựa trên hai hiện tượng :

- Áp suất hơi ở phía trên một dung dịch bão hòa chứa các muối hòa tan nhỏ hơn áp suất hơi ở phía trên mặt nước ở cùng điều kiện nhiệt độ (hình 12.5).

- Độ dẫn điện của muối kết tinh nhỏ hơn rất nhiều so với độ dẫn điện của dung dịch chính muối đó với tỷ lệ khoảng $10^{-3} \div 10$. Hiện tượng này cho phép thực hiện nung nóng dung dịch và hiệu chỉnh công suất nung.

Khi đo độ ẩm bằng ẩm kế hấp thụ người ta nung nóng dung dịch muối chứa trong ẩm kế đến áp suất hơi bão hòa ở phía trên dung dịch bằng áp suất hơi trong môi trường không khí bình thường. Khi biết nhiệt độ này sẽ xác định được áp suất hơi và nhiệt độ hóa sương.



Hình 12.5. Đường cong áp suất hơi phụ thuộc vào nhiệt độ của một số dung dịch bão hòa.

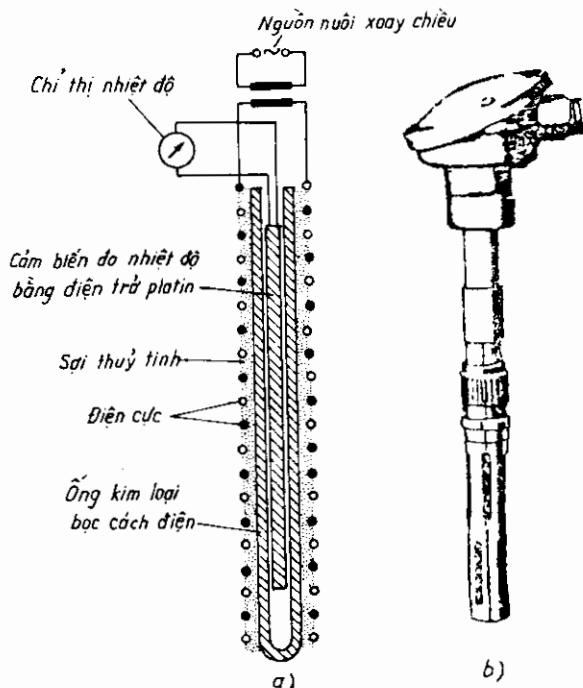
Thông thường người ta chọn các dung dịch muối bão hòa sao cho ở một nhiệt độ cho trước áp suất hơi càng nhỏ càng tốt, thực tế clorua liti (LiCl) là muối duy nhất được sử dụng để chế tạo ẩm kế.

Cảm biến LiCl bao gồm một ống được bọc bằng một lớp vải tẩm dung dịch LiCl (hình 12.6) trên đó có quần hai điện cực bằng kim loại không bị ăn mòn. Giữa hai điện cực này đặt vào điện áp xoay chiều cho dòng điện chạy qua trong dung dịch để đốt nóng và làm bay hơi nước. Khi nước bay hơi hết, dòng điện giữa các điện cực giảm đi một cách đáng kể bởi vì độ dẫn của muối LiCl ở thể rắn nhỏ hơn rất nhiều so với độ dẫn của dung dịch, do vậy nhiệt độ của cảm biến giảm xuống. Vì LiCl là chất ưa nước nên nó lại hấp thụ nước, độ ẩm tăng và dòng điện I lại tăng lên làm cho nhiệt độ của cảm biến tăng lên. Cuối cùng sẽ đạt được cân bằng giữa muối rắn LiCl và dung dịch.

Cân bằng này xảy ra ở nhiệt độ liên quan trực tiếp đến áp suất hơi và nhiệt độ hóa sương, do vậy có thể xác định được T_d . Phần tử điều chỉnh là LiCl .

Các đặc tính của ẩm kế LiCl

Ẩm kế LiCl dùng để đo nhiệt độ hóa sương với độ chính xác cao.



Hình 12.6. Cảm biến độ ẩm LiCl
a) Sơ đồ nguyên lý ; b) Hình dáng bên ngoài.

Việc đo nhiệt độ cân bằng được thực hiện bằng cách đốt nóng cảm biến thay vì làm lạnh như ở cảm biến ngưng tụ do đó cảm biến có cấu tạo đơn giản, độ tin cậy cao, giá thành hạ.

Độ chính xác có thể đạt tới $\pm 0,2^{\circ}\text{C}$. Độ chính xác này phụ thuộc vào độ chính xác của cảm biến nhiệt độ đặt trong đầu đo, vào cấu tạo đầu đo và điều kiện sử dụng. Nếu cảm biến được chuẩn hóa đạt được độ chính xác $\pm 1^{\circ}\text{C}$ khi tốc độ lưu thông không khí dưới $0,5 \text{ m/s}$.

Thời gian hồi đáp của ẩm kế LiCl tương đối lớn, cỡ hàng chục phút.

Phạm vi đo nhiệt độ hóa sương của các chất từ -10°C đến 60°C .

Một khi ẩm kế bị đọng LiCl cần đặt nguồn điện liên tục hoặc cần giữ cho độ ẩm môi trường dưới 11%. Nếu cất nguồn trong môi trường ẩm đầu đo LiCl có thể hấp thụ đủ nước, hòa tan muối làm hỏng cảm biến. Cảm biến không được dùng để đo điểm sương khi áp suất hơi nước nhỏ hơn áp suất hơi bão hòa của LiCl, nghĩa là dưới 11%.

12.6. ẨM KẾ NGƯNG TỤ

Ẩm kế ngưng tụ còn gọi là ẩm kế gương là ẩm kế chính xác nhất, làm việc tin cậy do đó được sử dụng để định chuẩn.

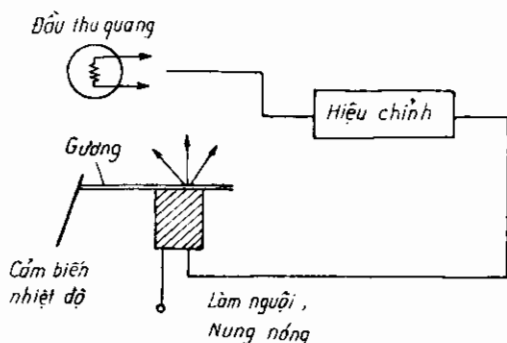
12.6.1. Nguyên lý làm việc

Khi làm lạnh một vật có thể đo nhiệt độ của nó một cách liên tục cho đến khi hình thành lớp sương hoặc lớp băng trên bề mặt của nó. Tiếp theo ổn định quá trình làm lạnh bằng cách giữ cân bằng trạng thái không khí và lớp sương. Nhiệt độ đo được là điểm sương T_d . Bắt đầu từ điểm sương này người ta đo áp suất hơi trong không khí ẩm.

Các phần tử của ẩm kế ngưng tụ gồm :

- Gương kim loại và hệ thống điều chỉnh nhiệt độ của gương
- Cảm biến đo nhiệt độ gương (điện trở platin hoặc cặp nhiệt)
- Nguồn quang và đầu đo quang

Hình 12.7 là sơ đồ nguyên lý của ẩm kế ngưng tụ.



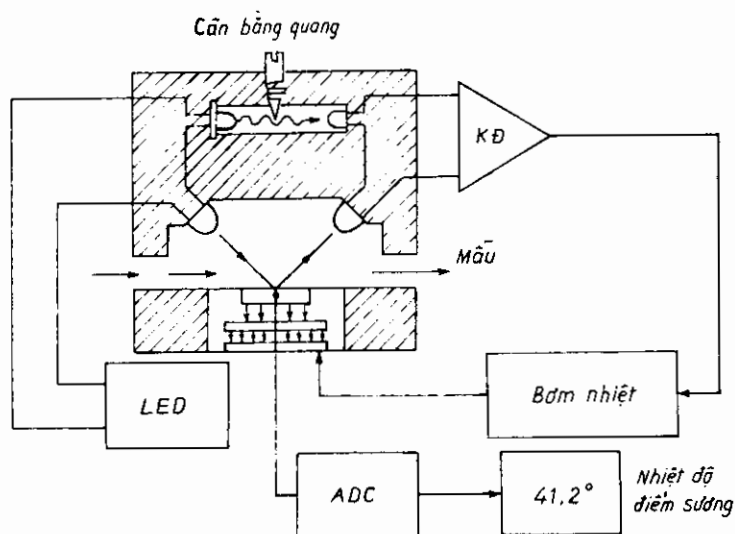
Hình 12.7. Sơ đồ nguyên lý của ẩm kế ngưng tụ.

· Nguồn sáng chiếu vào gương sao cho đầu đo không chạm khi không có hơi nước ngưng tụ. Lúc này hệ thống điều khiển phát tín hiệu để làm lạnh gương bằng hiệu ứng Peltier hoặc bằng nitơ lỏng cho đến khi xuất hiện ngưng tụ.

Khi xuất hiện lớp sương trên bề mặt ngưng ánh sáng bị tán xạ đến đầu thu quang kích thích tín hiệu ngưng nóng gương thông qua bộ điều chỉnh.

Khi nhiệt độ gương tăng lớp sương biến mất cùng với sự chấm dứt hiện tượng tán xạ ánh sáng và một chu kỳ làm lạnh mới lại được bắt đầu. Bằng cách điều chỉnh thích hợp có thể nhận được lớp ngưng tụ có bề dày cố định và tạo ra trạng thái cân bằng giữa hơi nước và lớp ngưng tụ. Cảm biến nhiệt độ đặt sau gương cho phép xác định nhiệt độ của gương.

Hình 12.8 là sơ đồ cảm biến điểm sương quang học. Nhiệt độ bề mặt gương nhỏ bằng vàng hoặc rودي được điều khiển bằng hệ thống làm lạnh, nung nóng. Nguồn sáng là LED cường độ cao. Ánh sáng phản xạ từ mặt gương được phát hiện bằng phototranzito. Các phototranzito được bố trí trong sơ đồ cầu để dễ dàng điều chỉnh dòng nhiệt điện, do đó điều chỉnh được nhiệt độ gương.



Hình 12.8. Cảm biến điểm sương quang học.

Hệ số phản xạ của gương lớn nhất khi nhiệt độ bề mặt của nó trên điểm sương và ánh sáng thu được từ cảm biến quang là cực đại.

Khi mặt gương sạch lớp ngưng tụ có thể duy trì chính xác.

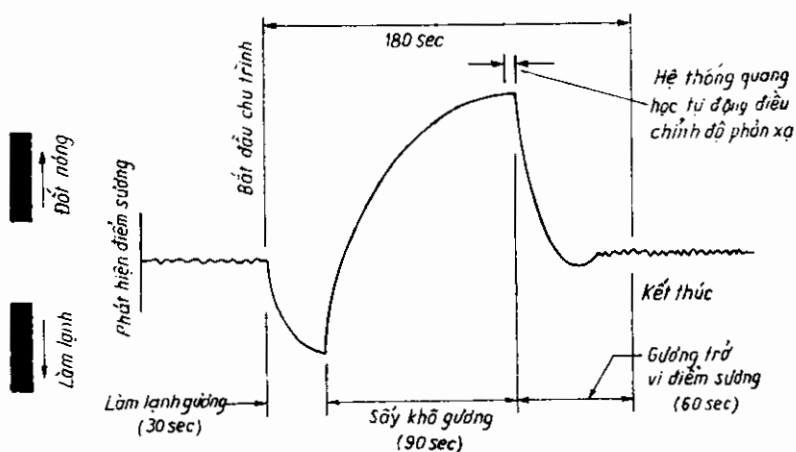
12.6.2. Các yếu tố ảnh hưởng

- Ấm kế ngưng tụ cũng giống như các ấm kế khác chịu ảnh hưởng nhiều của chất bẩn xuất hiện trên mặt gương.

- Gradient nhiệt độ và sự rò nhiệt ảnh hưởng nhiều đến độ chính xác của đầu đo. Về lý thuyết nhiệt độ hóa sương là nhiệt độ của bề mặt phân biên giữa không khí và nước. Tuy nhiên thực tế vẫn tồn tại gradient nhiệt độ giữa bề mặt này và cảm biến nhiệt độ đặt sau gương.

Quá trình chuyển trạng thái giữa nước và băng không nhất thiết xảy ra ở 0°C . Một số máy đo có thể làm việc ở trong nước chậm đông ở nhiệt độ dưới -10°C . Các thiết bị tốt còn được trang bị thêm bộ phận quang học làm việc bình thường ngay cả ở nhiệt độ hóa sương. Trong mọi trường hợp gương liên tục ở nhiệt độ điểm sương. Loại ấm kế ngưng tụ mới do nước Anh chế tạo gương định kỳ giữ ở nhiệt độ điểm sương trong thời gian ngắn do đó gương khô tránh được bụi bẩn so với gương luôn ướt.

Khi sử dụng mạch PACER (Programmable Automatic Contaminant Error) cho phép giảm sai sót do bụi bẩn, cho phép làm lạnh, nung nóng chính xác vì vậy không cần cất mạch để lau gương. Chu trình hoạt động của mạch PACER được cho trên hình 12.9.



Hình 12.9. Chu trình PACER điển hình.

12.6.3. Các đặc tính của ẩm kế ngưng tụ

- Phạm vi đo rất rộng từ -70°C đến 100°C , có thể mở rộng tới $+180^{\circ}\text{C}$.

- Độ chính xác khi đo điểm sương T_d phụ thuộc vào độ chính xác đo nhiệt độ và sai số hệ thống. Một số ẩm kế đạt được độ chính xác $\pm 0,2^{\circ}\text{C}$. Đối với những chất có điểm sương trên 20°C thời gian hồi đáp có vài phút. Ở -80°C phải mất 3 giờ với lưu lượng 10 l/h để hình thành lớp băng $0,3 \mu$.

- Ưu điểm nổi bật của ẩm kế ngưng tụ là có thể làm việc trong môi trường ăn mòn, thí dụ khí nhiên liệu. Tuy vậy do cấu tạo phức tạp, giá thành cao, nhu cầu hiệu chỉnh thường xuyên nên ẩm kế này thường dùng trong phòng thí nghiệm để định chuẩn.

12.7. ẨM KẾ ÁP ĐIỆN

12.7.1. Nguyên lý làm việc

Ẩm kế áp điện đo độ ẩm bằng cách chỉ thị sự thay đổi tần số của tinh thể thạch anh nhạy với ẩm. Tinh thể này lần lượt được khí ẩm và khí khô chảy qua. Mẫu khí được chia thành hai dòng, một để đo và một để định chuẩn và lần lượt chảy qua tinh thể đo. Khí định chuẩn qua máy làm khô lưới phân tử hút hết mọi chất ẩm.

Mẫu khí qua tinh thể đo, hơi ẩm bị lớp bao tinh thể hút và làm thay đổi tần số dao động. Cuối mỗi 30 chu kỳ bộ vi xử lý đọc và lưu trữ hiệu tần số (ΔF_1) giữa tinh thể đo và tinh thể bộ dao động nổi bọc kín rồi cho khí qua tinh thể để làm khí chuẩn trong 30 giây, và làm khô tinh thể. Cuối 30 chu kỳ này bộ vi xử lý lại đọc và lưu trữ hiệu tần số dao động của hai tinh thể ΔF_2 và trừ giữa chúng để tạo nên ΔF_3 tỷ lệ với hàm lượng ẩm do mẫu khí hấp thụ trong chu kỳ. Độ ẩm liên quan đến ΔF_3 có biểu thức là đa thức với các hệ số được xác định trong quá trình chế tạo. Bộ vi xử lý sử dụng biểu thức này để tính độ ẩm. Cả hai tinh thể được giữ nhiệt độ ở 60°C .

12.7.2. Tính năng

Ẩm kế áp điện có độ chính xác rất cao được sử dụng trong phép đo độ ẩm mức thấp ppm và ppb. Tuy nhiên giá thành thiết bị cao.

12.8. PHẠM VI SỬ DỤNG CỦA ẨM KẾ

Việc lựa chọn loại ẩm kế phụ thuộc vào phạm vi sử dụng. Cần cân nhắc kỹ các yêu cầu trước khi đi đến quyết định.

- Trong khí tượng : Để đo chính xác nên sử dụng ẩm kế gương. Trong nhiều trường hợp ẩm kế gương khá đắt có thể thay bằng ẩm kế LiCl, ngày nay thường sử dụng ẩm kế tụ điện.

- Trong buồng máy tính : Để xác định độ ẩm tương đối thường sử dụng ẩm kế điện trở polyme, ẩm kế gương.

- Trong ngành dầu khí : Đa số trường hợp đòi hỏi đo ở nhiều điểm. Phép đo không đòi hỏi độ chính xác rất cao, thường sử dụng ẩm kế Al_2O_3 . Để đo độ ẩm khí tự nhiên có thể sử dụng ẩm kế Al_2O_3 và P_2O_5 .

- Trong chế tạo linh kiện bán dẫn :

Công nghệ chế tạo linh kiện bán dẫn đòi hỏi môi trường rất khô. Yêu cầu đo cỡ ppm hoặc ppb $10^{-6} \div 10^{-9}$. Thường sử dụng cảm biến P_2O_5 , Al_2O_3 . Đối với hệ thống định chuẩn chính xác cần sử dụng ẩm kế áp điện.

- Trong công nghệ dược phẩm :

Cần đo độ ẩm chính xác, tin cậy, nên chọn ẩm kế gương.

- Trong công nghệ năng lượng :

Cần đo độ ẩm tương đối tại nhiều điểm. Trong trường hợp này nên sử dụng ẩm kế điện trở và ẩm kế tụ điện.

- Trong xử lý nhiệt :

Cần hiển thị liên tục, chính xác độ ẩm, điểm sương, nên sử dụng ẩm kế gương.

Bảng 12.1 tóm tắt các loại bộ cảm biến độ ẩm và các tính năng chủ yếu của chúng.

Bảng 12.1.

Tính năng chủ yếu một số cảm biến độ ẩm

TT	Loại bộ cảm biến	Dải đo độ ẩm	Dải nhiệt độ	Độ chính xác
1	Ẩm kế điện trở	5% ÷ 95%	-10°C ÷ 60°C	± 2%
2	Ẩm kế tụ điện polyme	0% ÷ 100%	-40°C ÷ 100°C	± 2%
3	Ẩm kế tụ điện Al_2O_3	10^{-6}	-80°C ÷ 70°C	± 2%
4	Ẩm kế điện ly P_2O_5	$10^{-3} \div 10^{-4}$	-10°C ÷ 60°C	± 5%

Tiếp bảng 12.1

TT	Loại bộ cảm biến	Dải đo độ ẩm	Dải nhiệt độ	Độ chính xác
5	Ăm kế hấp thụ LiCl	điểm sương	-10°C ÷ 60°C	± 0,2%
6	Ăm kế ngưng tụ	điểm sương	-70°C ÷ 100°C	± 0,2%
7	Ăm kế áp điện	$10^{-6} \div 10^{-9}$		

Chương 13

CẢM BIẾN ĐIỆN HÓA VÀ Y SINH

Việc đánh giá định tính và định lượng hóa chất và sản phẩm sinh hóa có thể được thực hiện bằng các dụng cụ phân tích như sắc ký, máy phân tích phổ cũng như bằng các cảm biến. Các cảm biến điện hóa có kích thước nhỏ, tiêu tốn ít năng lượng, thời gian hồi đáp nhỏ, thích ứng với yêu cầu đánh giá, phân tích tại chỗ. Các cảm biến điện hóa là vật dẫn điện được đặt trong môi trường nghiên cứu. Tại đây sẽ xảy ra quá trình trao đổi điện tích giữa các hạt tích điện có mặt trong môi trường và cảm biến và kết quả được chuyển đổi thành tín hiệu điện.

Các cảm biến điện hóa và sinh hóa được chia thành bốn loại : cảm biến điện thế, cảm biến dòng điện, cảm biến độ dẫn và cảm biến chọn lọc ion trên cơ sở tranzito hiệu ứng trường.

13.1. CẢM BIẾN ĐIỆN THẾ

Các cảm biến điện thế dựa trên nguyên lý xác định sự khác nhau về điện thế giữa điện cực đo và điện cực so sánh. Hiệu điện thế giữa hai điện cực là hàm của hoạt độ các ion trong chất điện phân, nơi đặt cảm biến.

Điều kiện hoạt động của cảm biến điện hóa là dòng điện trong mạch đo bằng không, nói cách khác là điện trở nối giữa các điện cực rất lớn ($> 10^{12} \Omega$).

13.1.1. Điện cực đo

Điện cực đo bằng vật liệu dẫn điện cho phép trao đổi điện tử với các hạt điện tích chứa trong dung dịch. Điện cực đo làm bằng vật liệu không bị ăn mòn (platin, vàng...). Phản ứng oxy hóa khử là phản ứng trao đổi điện tử tuân theo phương trình :



trong đó Ox là chất oxy hóa, Red là chất khử. Trong trường hợp hệ thống thuận nghịch dòng điện bằng không, một thể cân bằng tạo nên dòng điện trao đổi các điện tử giữa chất oxy hóa và chất khử. Biểu thức của thể cân bằng tuân theo định luật Nernst :

$$E = E^0 + 2,3 \frac{RT}{nF} \lg \frac{a_{\text{Ox}}}{a_{\text{Red}}} \quad (13.2)$$

với $E^0(V)$ điện thế của cặp oxy hóa/chất khử ;

R ($8,314 \text{ JK}^{-1}\text{mol}^{-1}$) hằng số mol của chất khí ;

T (K) nhiệt độ tuyệt đối ;

F ($9,648456 \cdot 10^4 \text{ C.mol}^{-1}$) hằng số Faraday.

a_{Ox} và a_{Red} là hoạt độ của chất oxy hóa và chất khử.

Tỷ số $2,3 RT/F$ bằng $59,16 \text{ mV}$ ở 25°C là hệ số Nernst, nó dao động từ $56,18 \text{ mV}$ đến $60,15 \text{ mV}$ khi nhiệt độ thay đổi từ 10°C đến 30°C .

Điện thế cân bằng E đặc trưng cho thành phần của dung dịch chứa chất oxy hóa và chất khử, cho phép theo dõi sự tiến triển của các thành phần dung dịch trong quá trình đo.

13.1.2. Điện cực so sánh

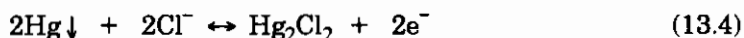
Thực tế không thể đo điện thế của điện cực một cách trực tiếp mà chỉ có thể xác định hiệu điện thế giữa hai điện cực. Điện cực chuẩn là điện cực kim loại không bị ăn mòn hóa học có điện thế không đổi. Theo quy ước ta dùng điện cực chuẩn hydro để xác định điện thế không. Nó là điện cực platin đặt trong dung dịch nước của các ion H^+ có hoạt độ bằng 1 trong đó có dòng hydro chảy qua và tiếp xúc với platin. Khi cân bằng nhiệt động với hệ thống điện hóa :



Điện cực chuẩn hydro phải được sử dụng và bảo quản cẩn thận vì nó dễ bị nhiễm bẩn và hư hỏng, đồng thời việc cân bằng nó đòi hỏi tốn nhiều thời gian.

Thực tế thường sử dụng điện cực so sánh dễ sử dụng và có sức điện động được xác định so sánh đó là điện cực calomel. Nó bao gồm hỗn hợp clorua thủy ngân (Calomel) ngâm trong dung dịch clorua kali hòa chứa trong ống thủy tinh. Phía dưới ống được bịt bằng một viên gốm xốp cho phép tiếp xúc trực tiếp với dung dịch nghiên cứu và thiết lập mối liên hệ về điện.

Sự cân bằng ở điện cực calomel dựa trên phản ứng



Điện thế của nó chỉ phụ thuộc vào hoạt độ các ion Cl^-

$$E = E_0 - 0,058 \lg |\text{Cl}^-| \quad (13.5)$$

Khi điện cực này điện đầy clorua kali điện thế của nó là 244 mV ở 25°C so với điện cực chuẩn hydro. Hình 13.1 trình bày cấu tạo của điện cực so sánh calomel.

Điện cực chuẩn clorua bạc gồm một sợi dây bạc phủ clorua bạc ngâm trong dung dịch chứa ion clo. Hoạt động của điện cực này dựa trên phản ứng :



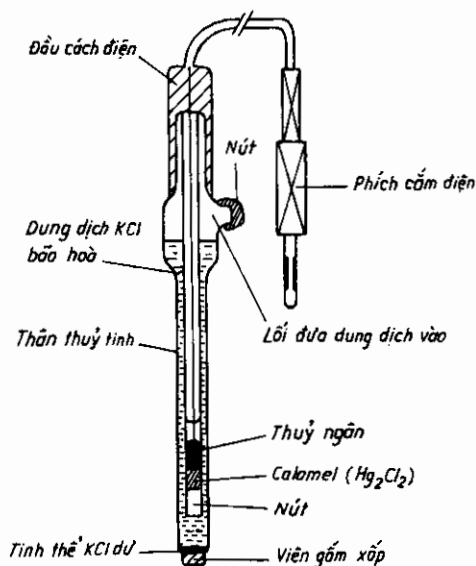
Điện thế cân bằng của nó bằng :

$$E = E_0 + 2,3 \frac{RT}{F} \lg \frac{1}{a_{\text{Cl}^-}} \quad (13.7)$$

E_0 là thế của cặp AgCl/Ag .

a_{Cl^-} là hoạt độ của Cl^- .

Điện cực này có kích thước nhỏ, thế cân bằng của nó là 199 mV ở 25°C so với điện cực chuẩn hydro.



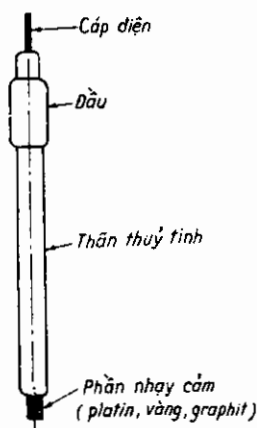
Hình 13.1. Điện cực so sánh calomel.

13.1.3. Điện cực đo thế oxy hóa khử

Việc đo thế oxy hóa khử thường phải sử dụng điện cực không bị ăn mòn.

Nếu điện cực này được đặt trong dung dịch chứa hệ oxy hóa khử cần nghiên cứu thì nó sẽ có một điện thế E xác định theo phương trình Nernst (13.2). Nếu nồng độ chất oxy hóa và chất khử thay đổi thì việc đo điện thế của điện cực cho phép theo dõi sự tiến triển của phản ứng kèm theo sự thay đổi nồng độ của một trong những thành phần tham gia phản ứng.

Việc đo hiệu điện thế giữa điện cực chỉ thị và điện cực so sánh được thực hiện bằng milivôn kế có trở kháng với lớn. Các điện cực chỉ thị thường sử dụng là các điện cực kim loại không bị ăn mòn (vàng, platin, bạc, thủy ngân), cacbon thủy tinh hay graphit. Chúng có cấu tạo gồm một que bằng platin hoặc không bị che chắn để có thể trực tiếp tiếp xúc với dung dịch (hình 13.2).



Hình 13.2. Điện cực kim loại.

Điện cực được nối ra ngoài bằng dây cáp. Điện cực platin được dùng để đo điện thế từ $-0,1$ V đến $+0,9$ V. Điện cực vàng dùng khi điện thế cần đo nằm trong khoảng -1 V đến $+0,3$ V.

13.1.4. Điện cực đo độ pH

Độ pH theo định nghĩa là logarit hoạt độ của các ion H^+ thể hiện tính axit của dung dịch. Trong thực tế cần tiến hành đo độ pH thường xuyên.

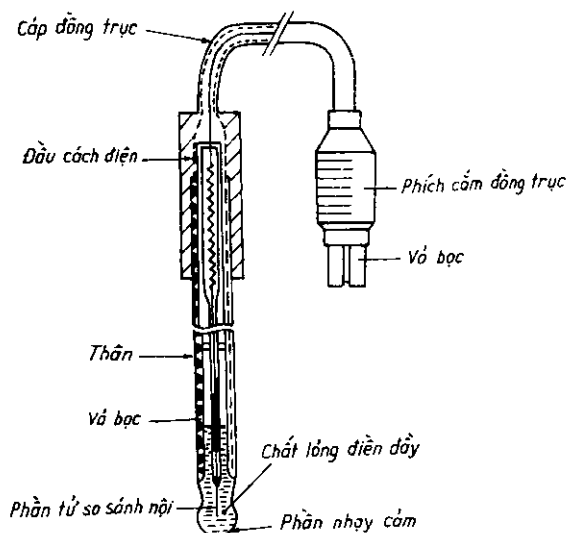
Một số loại thủy tinh là chất dẫn điện yếu, điện thế trên mặt phân cách của một màng thủy tinh dẫn điện và dung dịch nước phụ thuộc vào độ pH của dung dịch và tuân theo định luật Nernst :

$$E = E_o + \frac{RT}{F} \ln a_{H^+} \quad (13.8)$$

E_o là điện thế điện cực chuẩn

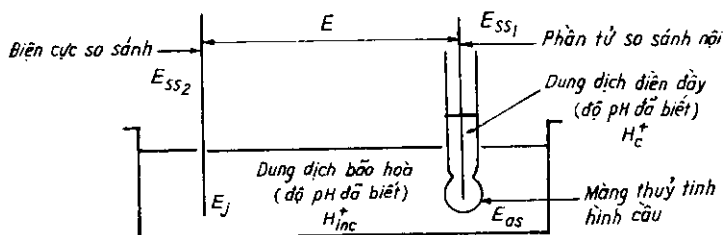
a_{H^+} là hoạt độ của ion H^+ của dung dịch nghiên cứu.

Thành phần chính của điện cực màng thủy tinh là màng mỏng hình cầu, hình trụ hoặc hình côn làm bằng thủy tinh đặc biệt (hình 13.3). Bên trong điện cực chứa dung dịch có độ pH cho trước ($pH \approx 7$) trong đó có đặt một phần tử so sánh.



Hình 13.3. Điện cực màng thủy tinh.

Để đo độ pH cần đặt điện cực màng thủy tinh vào trong dung dịch và đo điện áp giữa phần tử so sánh nội của nó với điện cực so sánh cùng nằm trong dung dịch này.



Hình 13.4. Đo độ pH dùng điện cực thủy tinh.

Thực chất pH kế là một milivôn kế có trở kháng vào rất lớn ($R > 10^{12} \Omega$) kết hợp với mạch chuyển đổi hiệu điện thế thành đại lượng theo pH theo sơ đồ hình 13.4.

13.1.5. Điện cực đặc biệt

Điện cực đặc biệt xảy ra cân bằng điện hóa ở các mặt phân cách giữa các dung dịch điện phân và các màng do các ion dẫn điện tạo nên. Loại ion trao đổi được xác định bởi thành phần vật liệu tạo nên màng này. Vì chỉ có trao đổi ion ở các bề mặt phân cách, thế điện hóa của các ion nằm ở hai phía của mặt phân cách bằng nhau. Sơ đồ dây điện hóa để đo hoạt độ các ion như sau (hình 13.5).



Hình 13.5. Dây điện hóa do hoạt độ ion.

Hiệu thế giữa phần tử nhạy và dung dịch được xác định bằng phương trình Nerst

$$E = E_0 + \frac{RT}{z_i F} \ln a_i \quad (13.9)$$

trong đó E_0 là thế chuẩn của phần tử nhạy

z_i là điện tích của ion thứ i

a_i là hoạt độ của các ion i trong dung dịch đo.

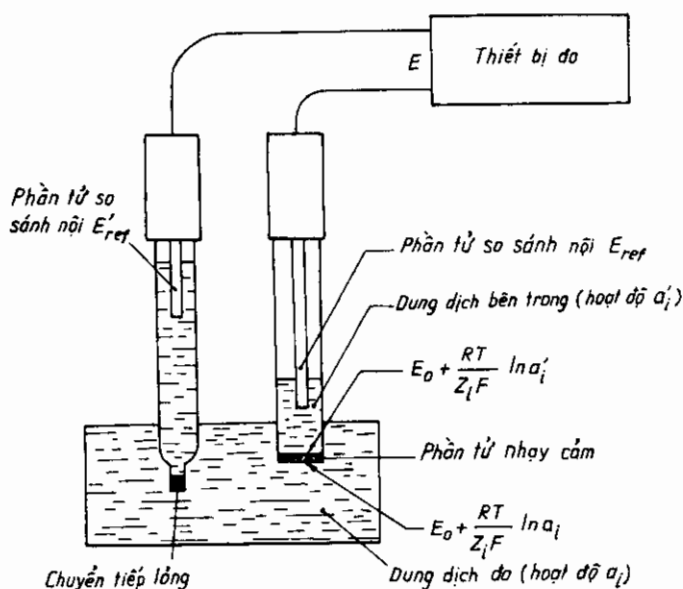
Hình 13.6 biểu diễn sơ đồ nguyên lý của hệ đo sử dụng điện cực đặc biệt.

Các điện cực đặc biệt phản ứng với hoạt độ của các ion. Đối với một nhiệt độ cho trước hoạt độ này phụ thuộc vào :

- Nồng độ, điện tích và kích thước các ion nghiên cứu.
- Bản chất và số lượng các ion ngoại lai có mặt trong dung dịch đo.

Khi đo người ta thường thêm vào dung dịch đo một lượng dư thừa đáng kể các ion như nhau để cho sự thay đổi nồng độ đo rất nhỏ so với lượng ion tổng thể có mặt trong dung dịch.

Thời gian hồi đáp của một điện cực đặc biệt phụ thuộc vào thời gian ổn định của thế trên điện cực, có dạng hàm mũ. Nói chung thời gian hồi đáp nằm từ vài giây đến hàng chục phút.



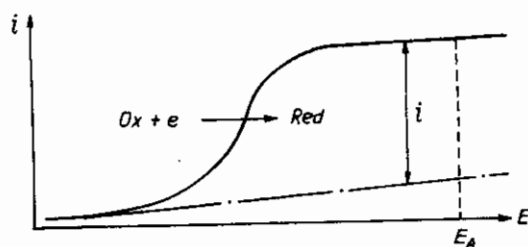
Hình 13.6. Sơ đồ đo sử dụng điện cực đặc biệt.

13.2. CẢM BIẾN DÒNG ĐIỆN

13.2.1. Nguyên lý

Cảm biến loại này hoạt động nhờ dòng điện chạy qua mạch đo khi đặt hiệu điện thế giữa hai điện cực, thường là một điện cực kim loại và một điện cực chuẩn.

Cường độ dòng điện chạy giữa hai điện cực là hàm của mật độ các hạt điện tích trong dung dịch và điện áp giữa hai điện cực.



Hình 13.7. Đường cong dòng điện điện thế.

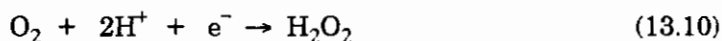
Đường cong dòng điện - điện thế nhận được bằng cách đặt điện áp biến thiên so với điện cực gốc. Tiến hành điện phân giữa một điện cực chỉ thị và điện cực gốc bằng cách đặt điện thế điện phân E_A tương ứng với giới hạn khuếch tán rồi xác định dòng điện của bậc khuếch tán này, nó tỷ lệ với nồng độ chất oxy hóa hay chất khử trên điện cực chỉ thị. Có thể tiến hành định chuẩn trong cùng điều kiện bằng cách sử dụng dung dịch chứa nồng độ biết trước của chất cần xác định. Đường cong chuẩn cho phép suy ra nồng độ các ion cần đo. Các giá trị cần đo thay đổi rất nhiều tùy theo lượng các hạt, vào điện tích điện cực chỉ thị. Giá trị thông thường của dòng điện từ vài picoampe đến vài chục miliampe.

13.2.2. Các loại cảm biến

Các loại cảm biến dòng điện cho phép đo các chất oxy hóa hoặc chất khử trong dung dịch. Tính chọn lọc chỉ liên quan đến giá trị E_A . Các loại điện cực chỉ thị chủ yếu là : điện cực giọt thủy ngân, điện cực kim loại không bị ăn mòn (platin, vàng...), các điện cực thủy tinh cacbon, graphit.

* Đầu đo oxy cấu tạo từ hai điện cực có khả năng phân cực : một catot bằng platin và anốt bằng bạc phủ clorua bạc, dung dịch điện phân là clorua kali. Hệ thống điện cực này được ngăn cách với môi trường nghiên cứu bằng một màng cho oxy thấm qua.

Đặt vào điện áp phân cực 650 mV oxy khuếch tán qua màng bị khử tại catot theo phản ứng :



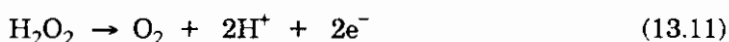
Do phản ứng điện hóa dòng điện chạy giữa hai điện cực tỷ lệ với lượng oxy bị khử, do đó tỷ lệ với hàm lượng oxy trong dung dịch. Dòng điện được đo sau khi đã khuếch đại và được chỉ thị số trực tiếp.

+ Điện cực enzym

Điện cực enzym được chế tạo dưới dạng một màng enzym. Một mặt màng tiếp xúc với môi trường nghiên cứu, mặt kia tiếp xúc với buồng đo.

Màng của điện cực enzym đo hàm lượng glucoza là vật chứa glucoza oxydaza. Sự có mặt của glucoza oxydaza làm cho glucoza cần đo bị oxy hóa.

Buồng đo dòng điện gồm hai điện cực có khả năng phân cực, một catot bạc phủ clorua bạc, một anot platin tiếp xúc với màng, cả hai được nhúng trong chất điện phân đậm có pha thêm clorua kali. Đặt điện áp phân cực vào hai điện cực, dưới tác dụng của điện áp phân cực sẽ xảy ra phản ứng



Dòng điện thu được tỷ lệ với lượng nước oxy già bị oxy hóa và do đó tỷ lệ với hàm lượng glucoza trong môi trường nghiên cứu.

Phạm vi đo nồng độ glucoza nằm trong khoảng từ 10^{-3} đến 10^{-7} M. Trong dải này hồi đáp của cảm biến là tuyến tính với độ nhạy $1,5 \mu\text{A}/\text{milimol/lit glucoza}$. Thời gian hồi đáp trong khoảng $30 \div 45$ s.

13.3. CẢM BIẾN ĐỘ DẪN

13.3.1. Nguyên lý

Độ dẫn điện G là nghịch đảo của điện trở của vật tỷ lệ thuận với diện tích S của tiết diện vuông góc với dòng điện và tỷ lệ nghịch với chiều dài l :

$$G = \frac{\gamma S}{l} \quad (13.12)$$

γ điện dẫn suất

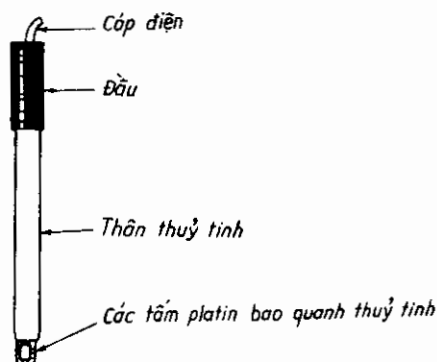
Việc đo điện dẫn của một dung dịch điện phân được thực hiện bằng cách đặt hai điện cực có diện tích S và khoảng cách l trong dung dịch và định chuẩn bằng cách đo điện dẫn của dung dịch đã biết.

Không được tiến hành đo điện dẫn bằng điện áp một chiều vì khi đó có hiện tượng phân cực của các điện cực và sự điện phân làm thay đổi điện trở của nó. Do vậy cần đo bằng dòng điện xoay chiều tần số đủ lớn để hạn chế hiện tượng này.

Đối với các dung dịch điện dẫn nhỏ hơn vài microsiemen ta thường sử dụng tần số nhỏ 50 Hz. Đối với các dung dịch có điện dẫn trên vài milisiemen thường sử dụng tần số cao hơn : 10 kHz. Với các dung dịch có điện dẫn trên bình thường sử dụng tần số từ $10^2 \div 10^3$ Hz. Điện dẫn của chất điện phân tỷ lệ với nhiệt độ vì thế khi muốn đo so sánh trực tiếp để xác định nồng độ của các dung dịch khác nhau cần tiến hành đo ở cùng một nhiệt độ.

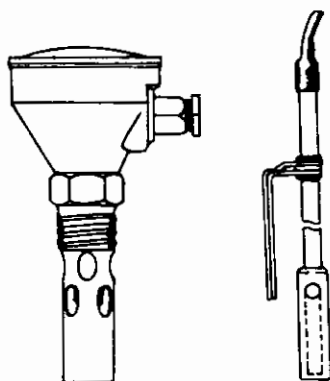
13.3.2. Các loại cảm biến điện dẫn

Cảm biến điện dẫn dùng trong phòng thí nghiệm thường gồm một thân bằng thủy tinh có hai miếng hoặc hai vòng platin (hình 13.8). Trên bề mặt của hai vòng platin có phủ lớp platin tạo nên bề mặt xốp nhằm mục đích tránh hiện tượng phân cực điện phân trên bề mặt đầu. Phía trên là đầu cách điện và được dẫn ra bằng dây bọc kim. Cảm biến điện dẫn trong phòng thí nghiệm dùng để theo dõi các phản ứng hóa học. Các đầu đo điện dẫn công nghiệp có hình dáng và kích thước khác nhau : các điện cực có dạng vòng tròn đồng tâm, cùng đường thẳng hoặc các điện cực phẳng song song.



Hình 13.8. Đầu đo độ dẫn dùng trong phòng thí nghiệm.

Các đầu đo này thường làm bằng thép không gỉ hoặc cacbon. Trong môi trường ăn mòn mạnh thường sử dụng điện cực vàng, platin hoặc paladi. Hình 13.8 trình bày đầu đo độ dẫn dùng trong phòng thí nghiệm. Hình 13.9 trình bày một số đầu đo điện dẫn dùng trong công nghiệp.



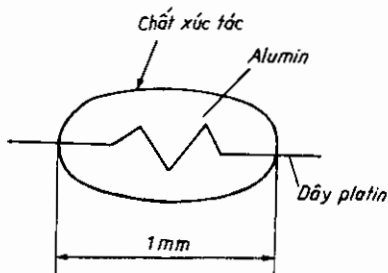
Hình 13.9. Đầu đo điện dẫn sử dụng trong công nghiệp.

13.4. CẢM BIẾN PHÂN TÍCH KHÍ

13.4.1. Cảm biến thay đổi điện trở

Cảm biến được sử dụng trong phân tích khí nhiên liệu hàm lượng nhỏ trong không khí. Các khí này bị oxy hóa khi tiếp xúc với chất xúc tác nhiên liệu đốt nóng, do vậy chúng được sử dụng để theo dõi, cảnh báo.

Nguyên lý của cảm biến này được trình bày trên hình 13.10, gồm một sợi dây platin kích thước 1 mm ngâm trong bột oxyt $\text{ThO}_2 - \text{Al}_2\text{O}_3$, bao phủ bằng chất xúc tác rỗng. Sợi dây platin để tạo nên hiệu ứng Joule duy trì nhiệt độ 600° và để đo biến thiên điện trở ΔR theo nhiệt độ. Cảm biến có cấu tạo đơn giản phép đo ΔR bằng cầu Wheatstone. Cảm biến có độ nhạy nhỏ khoảng vài phần trăm và tính chọn lọc kém.



Hình 13.10. Cảm biến phân tích khí biến thiên điện trở.

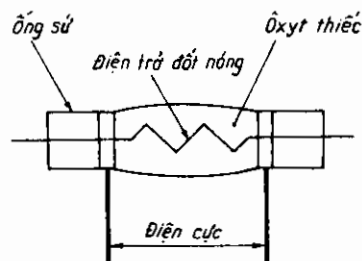
13.4.2. Cảm biến bán dẫn oxyt kim loại (SnO_2 , ZnO)

Trong bán dẫn loại N, sự dẫn điện do các điện tử tự do đảm bảo. Nồng độ bán dẫn nhỏ 10^{15} đến 10^{18} cm^{-3} và dễ dàng thay đổi. Nếu đối với vật liệu này các loại hóa chất kích tạp làm thay đổi sự phân bố điện tử trên bề mặt, do đó làm thay đổi điện dẫn bề mặt. Đối với bán dẫn loại N việc hấp thụ điện tử cho (ví dụ H) làm tăng điện dẫn bề mặt.

Các vật liệu sử dụng như SnO_2 , ZnO là các chất ổn định hóa học, là bán dẫn loại N. Điện dẫn bề mặt của chúng thay đổi khi hấp thụ khí.

Nguyên lý của cảm biến phân tích khí SnO_2 được trình bày trên hình (hình 13.11). Cảm biến gồm sợi đốt bao bọc bởi gốm oxyt thiếc. Phía ngoài là ống sứ.

Đáp ứng điện dẫn của cảm biến tỷ lệ với áp suất riêng phần của khí oxy hóa khử, phụ thuộc vào nhiệt độ làm việc và loại khí.



Hình 13.11. Cảm biến phân tích khí bán dẫn oxyt kim loại.

Trên hình 13.12 là đáp ứng của cảm biến bán dẫn oxyt kim loại trong không khí (I), khi có benzen vài ppm (II) và khi có rượu êtilic vài ppm (III).

13.4.3. Cảm biến màng mỏng bán dẫn

Các tính chất của màng mỏng bán dẫn phtalocyarine được sử dụng để phát hiện các khí như NO_x , SO_2 , O_3 và các halogen.

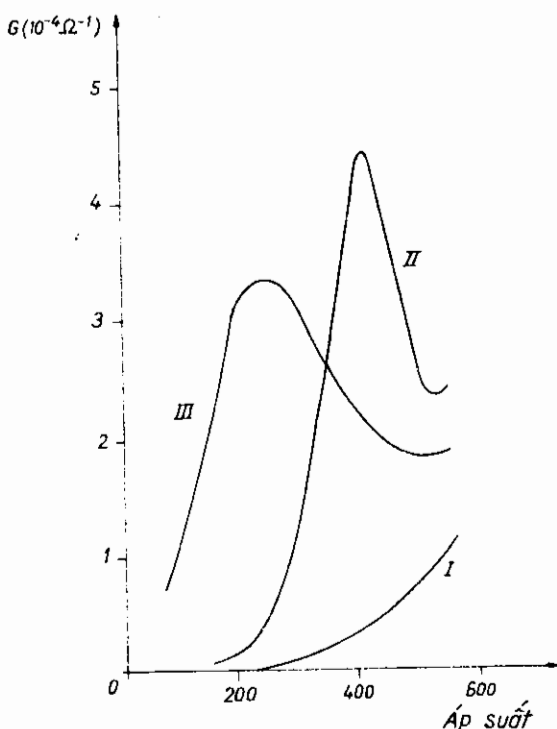
Các màng bán dẫn ở nhiệt độ thấp (150°C) không nhạy với hydrocac-bua có thể được chế tạo tinh khiết bằng kỹ thuật bay hơi trong chân không.

13.4.4. Cảm biến điện thế Zircone (Zr O_2)

Là vật liệu gốm dẫn ion bằng các ion O_2^- được sử dụng như bộ cảm biến khí oxy trong môi trường khó khăn. Zircone được bổ sung từ 5 đến 15% CaO hoặc đất hiếm Y_2O_3 .

Cảm biến này được sử dụng để đo oxy trong điều khiển nhiên liệu lò công nghiệp xử lý nhiệt trong luyện kim, trong bảo quản hoa quả thực phẩm. Một ứng dụng quan trọng của cảm biến này là điều chỉnh điều kiện đốt của động cơ ô tô để giảm khí độc hại.

Cảm biến phân tích khí oxy thường gặp là màng phẳng bằng ZrO_2 ổn định. Không khí tiếp xúc với điện cực ngoài nhận được bằng lớp phủ platin và khí cần phân tích được dẫn đến điện cực cần đo nhờ một ống nhôm. Nhiệt độ của điện cực được đo và xác định nhờ cặp nhiệt Pt 10%, Rh/Pt ở 1°C . Sức điện động của cảm biến được đo bằng sợi platin cụ thể là sợi platin của cặp nhiệt và sợi platin nối với điện cực chuẩn (hình 13.13).

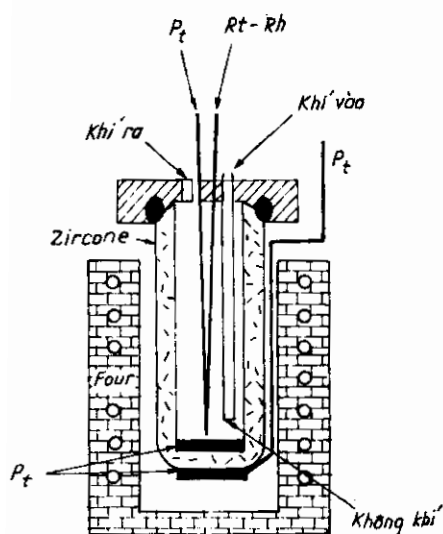


Hình 13.12. Đáp ứng của cảm biến bán dẫn oxyt kim loại.

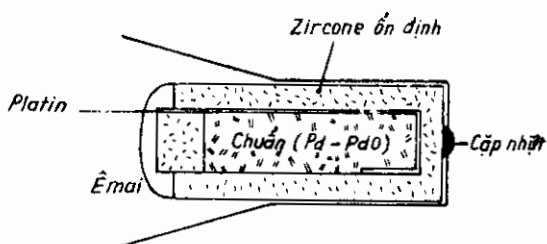
Áp suất chuẩn được cố định bằng hỗn hợp kim loại - oxyt kim loại Pd - PdO hoặc Co - CoO (hình 13.14).

Ưu điểm của cảm biến phân tích oxy ZrO_2 là có kích thước nhỏ, bền với thay đổi nhiệt độ, tiêu thụ công suất đốt nóng nhỏ, chịu được áp suất cao, phân bố nhiệt đều và thích hợp với đo tại chỗ. Hệ thống chuẩn Pd - PdO thích hợp đo áp suất riêng phần của oxy giữa 10^6 và $0,1 Pa$, nhiệt độ làm việc giữa $500 - 800^\circ C$.

Cảm biến dùng cho điều chỉnh động cơ nổ sử dụng không khí làm chuẩn. Cảm biến có nhiệt độ của khí thải. Điện cực đo được bảo vệ bằng một chất phủ xpinen và một khung kim loại. Thời gian hồi đáp nhỏ hơn $200 ms$, tuổi thọ trên $80.000 km$.



Hình 13.13. Sơ đồ điện cực phát hiện oxy điện cực zircon, chuẩn không khí.



Hình 13.14. Điện cực phát hiện oxy, chuẩn Pd - PdO.

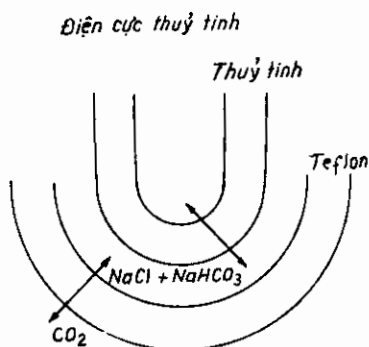
13.4.5. Cảm biến phân tích khí sử dụng điện cực chọn lọc

Các cảm biến này dựa trên nguyên lý khí khuếch tán qua một màng chứa dung dịch muối có nồng độ ion thay đổi tùy theo chất khí khuếch tán.

Sơ đồ nguyên lý điện cực CO_2 (điện cực Séveringhaus) được trình bày trên hình 13.15. Điện cực được chế tạo xung quanh điện cực màng thủy

tinh dùng đo pH. Giữa màn thủy tinh và màn khí khuếch tán là teflon đặt trong ống ghen tăng cường thêm dung dịch NaHCO_3 có độ pH thay đổi theo sự hiện diện của CO_2 . Có thể phát hiện CO_2 hòa tan đến 10^{-5} M. Điện cực này được sử dụng để phân tích nước và đo khí trong máu.

Điện cực amoniac cũng được chế tạo theo nguyên lý này.



Hình 13.15. Sơ đồ nguyên lý điện cực CO_2 .

13.5. VI CẢM BIẾN ĐIỆN HÓA

13.5.1. Vi cảm biến bán dẫn SnO_2

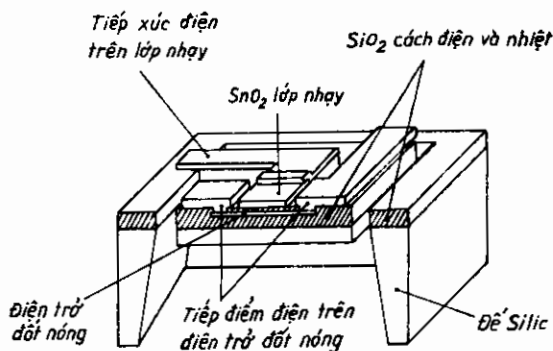
Ta xét vi cảm biến bán dẫn SnO_2 (hình 13.16) dùng để phát hiện khí CO. Để chế tạo sử dụng công nghệ Si khác không đồng nhất và tạo liên tiếp các màng (điện trở đốt nóng, cách điện, lớp nhạy SnO_2).

13.5.2. Cảm biến ISFET

Hiệu ứng trường bề mặt là sự biến điệu mép dài năng lượng làm thay đổi nồng độ hạt dẫn trên bề mặt chất bán dẫn khi có điện áp đặt trên bề mặt đó. Hiệu ứng này đã được sử dụng để chế tạo các tranzito hiệu ứng trường FET.

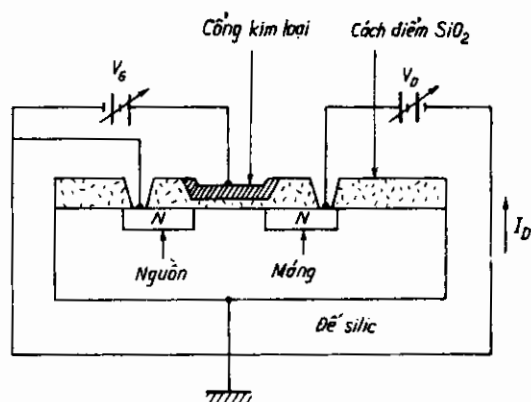
Cảm biến chọn lọc ion trên cơ sở tranzito trường ISFET (Ion Sensitive Field Effect Transistor) là

phần tử quan trọng nhất của mạch tích hợp. Từ năm 1970 Bergveld cho thấy độ nhạy của MOSFET không có lưới kim loại với các ion H^+ khi cách điện Silic trực tiếp tiếp xúc với dung dịch.



Hình 13.16. Sơ đồ vi cảm biến bán dẫn SnO_2 trên đế Si.

Hình 13.17 là sơ đồ mặt cắt của tranzito MOSFET trên đế Si kích tạp P (trường hợp MOSFET kênh N) đặt hai vùng kích tạp N tạo nên máng và nguồn trên đó đặt các điện cực kim loại. Vùng giữa máng và nguồn là kênh; một lớp cách điện mỏng SiO_2 tạo kênh và pha kim loại để tạo nên cổng là điện cực điều khiển độ dẫn của kênh. Bình thường cấu trúc này bị khóa, không có dòng điện chạy qua kênh giữa nguồn và máng dù có điện áp đặt vào hai vùng, ít nhất một trong các chuyển tiếp P-N phân cực ngược. Khi đặt điện áp V_G giữa cổng và nguồn V_G có xu hướng đẩy các lỗ đa số và thu hút trong vùng dưới cổng các điện tử thiểu số của lớp P. Khi $V_G > V_T$ là điện áp ngưỡng mật độ điện tử trở nên lớn hơn mật độ lỗ và một kênh N được tạo nên đảm bảo sự liên tục giữa máng và nguồn : Dòng điện I_D có thể chạy giữa nguồn và máng.



Hình 13.17. Mặt cắt tranzito MOSFET.

Dòng I_D là hàm của điện áp V_G và V_D . Khi $V_D < V_G - V_T$ MOSFET ở chế độ tuyến tính và khi $V_D > V_G - V_T$ ở chế độ bão hòa.

GasFET

Biểu thức điện áp ngưỡng V_T :

$$V_T = (W_s)_m - (W_s)_{sc} + Q_f/C_i + Q_s/C_i - 2\psi_b \quad (13.13)$$

trong đó $(W_s)_m$ năng lượng ra của kim loại

$(W_s)_{sc}$ năng lượng ra của bán dẫn

Q_f điện tích tĩnh của cách điện

C_i điện dung của cách điện

Q_s điện tích bề mặt bán dẫn

ψ_b hiệu mức Fermi của Si kích tạp và mức riêng của nó.

Cảm biến khí kiểu GasFET dựa trên biến thiên của công ra của kim loại cổng khi tiếp xúc với chất khí. Đó là nguyên lý làm việc của ảm kế Sensistor AB của hãng Thụy Điển để phát hiện hơi ảm trong nhiều thiết bị công nghiệp.

ISFET

Hình 13.18 trình bày cấu trúc của ISFET trong đó lớp kim loại của MOSFET được thay thế bằng màng nhạy với hóa chất khi tiếp xúc với dung dịch cần nghiên cứu.

Điện áp ngưỡng V_T là hàm của các đặc tính điện hóa của dung dịch

$$V_T = V_{T0} + \psi_0 \quad (13.14)$$

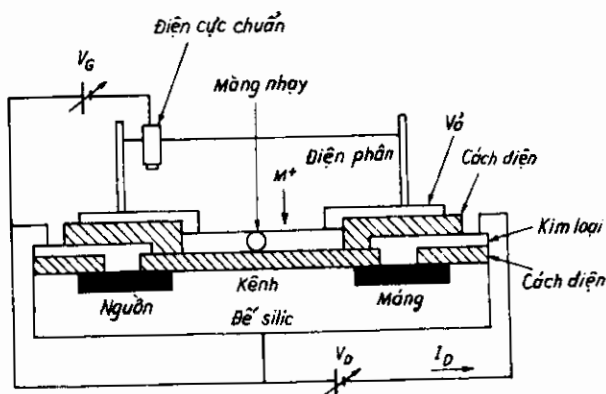
V_{T0} chỉ phụ thuộc vào các đặc tính của linh kiện ISFET và ψ_0 là hiệu số điện thế của màn nhạy và dung dịch điện phân. Đặc tính $I_D(V_G)$ của một ISFET màn alumin đo độ pH.

Quá trình chế tạo ISFET có thể được chia thành hai phần. Đầu tiên là chế tạo các linh kiện trên phiến Si (thông thường có đường kính 50 đến 75 mm) bằng công nghệ vi điện tử. Tiếp theo là bố trí màng nhạy, lắp ráp ISFET trên đế, nối điện và đóng gói.

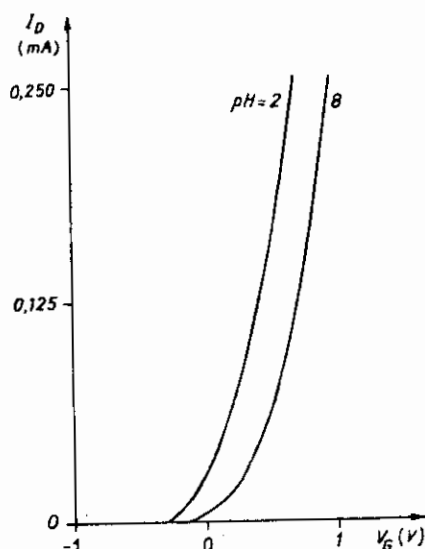
- Để phát hiện các ion H^+ sử dụng các màng nhạy với pH là các màng oxyt SiO_2 , Al_2O_3 , Ta_2O_5 hoặc Si_3N_4 .

- Để phát hiện các ion khác sử dụng :

- thủy tinh đặc biệt (K^+ , Na^+)
- đa tinh thể (Ag^+ , F , Br , I)
- các màng polyme với các nhóm chuyển ion (K^+ , Ca^{2+} , NO_3^-)



Hình 13.18. Sơ đồ ISFET.



Hình 13.19. Quan hệ $I_D(V_G)$ phụ thuộc độ pH.

- các màng đơn phân tử (Ag^+ , Ca^{2+} , NO_3^-)

- Để phát hiện các loại phân tử.

Các phản ứng tách enzym tiêu thụ hoặc phát sinh các proton do vậy có thể phát hiện các chất cũng như các thành phần của nó bằng cách đo pH trên bề mặt của ISFET cố định enzym. Loại ISFET này gọi là ENFET (Enzymatic Field Effect Transistor) dùng để phát hiện urê, glucô nhưng chưa có trên thị trường.

13.6. CẢM BIẾN Y SINH

Khác với cảm biến điện hóa, cảm biến y sinh mới được phát triển trong vòng 15 năm gần đây và tạo nên niềm hy vọng đối với việc áp dụng trong công nghệ sinh học và y sinh. Các thách thức đối với chức năng của các cảm biến y sinh là :

- Đáp ứng với sinh học phân tử ;
- Đáp ứng với môi trường thử nghiệm ;
- Đáp ứng với quá trình sản xuất công nghiệp.

Các cảm biến điện hóa đã mô tả ở mục trên như cảm biến độ pH, O_2 , CO_2 và một số điện cực chọn lọc như Ca^{2+} , Na^+ , K^+ có thể sử dụng cho cơ thể sống.

13.6.1. Sự chọn lọc sinh học

Trong thiên nhiên tồn tại nhiều phân tử sống có chức năng nhận biết. Chức năng này cho phép sự sinh tồn của sinh vật và đảm bảo các chức năng sống còn của cơ thể như : chuyển hóa nhờ các enzym, tái sinh nhờ thông tin di truyền chứa trong ADN, xử lý thông tin và thông báo nhờ các neuron, hoocmôn, tự bảo vệ nhờ cơ chế miễn dịch, trong hệ thực vật các lectin đóng vai trò trung tính các vi trùng và nấm. Các cơ chế này được cho trong bảng 13.1. Bảng này cho các chất liên quan đến các chức năng và sự nhận biết. Đôi khi sự thay đổi được đảm bảo bằng tương tác kiểu tĩnh điện. Mặc dù đặc điểm của phản ứng sinh học phân tử sống nhận biết một số chức năng như trường hợp miễn dịch của xúc tác sinh học bằng các độc tố có nồng độ rất yếu.

Các loại phân tử sinh học chính có khả năng nhận biết

Chức năng	Các chất liên quan
Miễn dịch tiểu cầu	Nhiều phân tử nhiều kích cỡ, kháng nguyên, độc tố
Enzym	Nền, các chất ức chế
Lectine hoặc các protein đặc biệt	Oligosaccharide
Nhận cảm	Hormôn độc tố, nơron
Avidine	Biotine
ADN	ADN, ARN
Protéine A	IgG, IgM, IgA
Protéine chuyển	Các ion, các chất khác nhau
ADN, ARN	Miễn dịch tiểu cầu

Nếu chọn một cặp này để thiết kế một bộ cảm biến y sinh các đặc tính tương tác chức năng - chất đặc trưng bởi tính thuận nghịch, sự chọn lọc và sự nhạy cảm.

Tùy theo chất cần định lượng một chức năng sẽ là không thay đổi đối với bộ chuyển đổi tương ứng.

Trong trường hợp bộ cảm biến y sinh ái lực tương tác này dẫn đến cân bằng :



$$\text{với } K = \frac{[LS]}{[L][S]} = \frac{k_1}{k_{-1}}$$

L là chức năng, ví dụ một kháng thể cố định trên bề mặt bộ cảm biến.

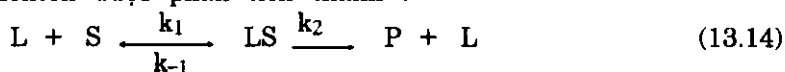
S là chất quen biết, ví dụ kháng nguyên.

k_1 và k_{-1} là hằng tốc độ ứng với các phản ứng thuận và nghịch.

K biểu diễn hằng số ái lực đặc trưng cho sự cân bằng giữa bề mặt chức năng và chất phân tích. K có giá trị trong khoảng từ 10^3 Lmol^{-1} đối với lectine tới $10^{15} \text{ Lmol}^{-1}$ đối với các hệ avidine - biotine. Đối với một số L cho trước số LS và do đó tín hiệu do bộ chuyển đổi cung cấp phải tỷ lệ với nồng độ của chất phân tích do vậy độ nhạy càng lớn khi K càng lớn. Khó khăn chính đối với nhiều cảm biến ái lực, ví dụ cảm biến miễn dịch là sự phân tách rất chậm và cấu trúc tái phát trên bề mặt. Trong trường hợp cảm biến miễn dịch sự đổi mới bề mặt tác động đòi hỏi phải rửa axit liên tục, trong đệm glycine, giảm dần hoạt tính,

định chuẩn lại và giới hạn sử dụng dài hạn. Các cảm biến chuyển hóa có ưu điểm tự hồi phát cấu trúc nhận biết của chúng.

Trong trường hợp này, chất nhận biết, nền S được chuyển đổi thành sản phẩm P có thể phát hiện được nhờ bộ cảm biến, ở đây L là enzym cố định trên bề mặt bộ chuyển đổi. Trường hợp thông dụng nhất là hình thành LS trung gian phức tạp, nó có thể được phân tích với một tốc độ tương ứng với một hằng động năng k_2 . Ở trạng thái cân bằng theo Michaelis - Menten được phân tích thành :



với

$$K_M = (k_{-1} + k_2)/k_1 = (V_{\max}/V - 1) \cdot [S]$$

$$V \text{ biểu diễn tốc độ phản ứng } V = k_2 \cdot [LS]$$

Đáp ứng của cảm biến y sinh tương ứng sẽ phụ thuộc vào động năng này, trong trường hợp hằng số ái lực K_M (hằng số Michaelis) biểu diễn nồng độ của nền trên đó đạt được một nửa tốc độ phản ứng cực đại $V_{\max}$. Trong thực tế giá trị này tương ứng với sự bán bão hòa của enzym và chỉ có những nồng độ nhỏ hơn giá trị này sẽ được khai thác trong cảm biến quang y sinh. Thực vậy, khi bão hòa sản phẩm P , từ đó cường độ tín hiệu do cảm biến cung cấp trở nên độc lập với nồng độ nền.

Những đặc điểm này được ứng dụng trong cảm biến y sinh chuyển hóa trong đó các enzym được nền thu nhận trực tiếp, sản phẩm của phản ứng được bộ chuyển đổi phát hiện một cách tức thời. Nhưng trong nhiều trường hợp enzym được đưa vào một màng và đáp ứng được xác định bằng quá trình khuếch tán của nền S đến enzym L và của khuếch tán P đến bề mặt bộ chuyển đổi hoặc về dung dịch cần phân tích. Trong thực tế việc kiểm tra các quá trình phức tạp này cho phép mở rộng lĩnh vực ứng dụng của các điện cực enzym.

13.6.2. Sự chuyển đổi và chức năng hóa y sinh

Để có thể ứng dụng các cơ chế đã trình bày ở trên cần có tương tác dẫn tới sự thay đổi mà bộ chuyển đổi phát hiện được. Trong thực tế có hai lớp phân tử sinh học được sử dụng rộng rãi nhất đó là các loại miễn dịch đối với cảm biến ái lực y sinh và hệ enzym dùng cho cảm biến y sinh chuyển hóa.

Bảng 13.2 cho mối liên hệ giữa nhận biết sinh học và khả năng chuyển đổi.

Quan hệ giữa nhận biết sinh học và phương pháp chuyển đổi

Loại nhận biết	Hiệu quả nhận biết	Các phương pháp chuyển đổi và các cảm biến
Hệ thống enzym	Thay đổi nồng độ sản phẩm Thay đổi thể chất oxy hóa khử Thay đổi điện dẫn Nhiệt của phản ứng Hiệu quả và hình dạng :	Cảm biến dòng điện, điện cực dòng điện Cảm biến điện thế, điện cực thế, ENFET Đo điện dẫn Biến trở nhiệt Thay đổi các tính chất quang
Loại miễn dịch	Thay đổi hình dạng kích thước Thay đổi khối lượng Thay đổi các tính chất điện	Cảm biến y sinh áp điện Cảm biến miễn dịch điện dung và đo trở kháng

Đôi khi sự gặp gỡ của các phân tử sống tạo nên sự thay đổi hình dáng có thể được đưa vào quá trình chuyển đổi sinh học. Ví dụ sự đóng mở các kênh ion đáp ứng với sự thẩm thấu màng ion tạo nên do tương tác giữa chất cho và nhận protein.

Kỹ thuật cố định bộ thu sinh học trên bộ chuyển đổi được trình bày trong bảng 13.3.

Bảng 13.3.

Kỹ thuật cố định bộ thu sinh học trên bộ chuyển đổi

Kỹ thuật cố định	Ưu điểm	Nhược điểm
Hấp thụ vật lý	- Rất đơn giản	Không hấp thụ phân tử sống do hiệu quả thay đổi pH hay lực ion
Bao trong gen	- Áp dụng vào các tế bào và cơ quan	Bộ thu y sinh không định hướng khi tiếp xúc với bộ chuyển đổi
Giám hãm	- Bộ thu sinh học tự do trong dung dịch bên trong vùng kín bằng một màng chọn lọc bảo toàn hoạt tính cực đại	Kỹ thuật phức tạp
Lưới (reticulation)	- Có thể sử dụng để tăng tính ổn định của các cơ cấu nhận được bằng kỹ thuật hấp thụ vật lý và bao trong gen	Khó điều khiển mức lưới
Co-reticulation	- Sử dụng một protein trợ, serum anbumin hoặc gelatin cho phép giảm thiểu sự không hoạt động của enzym bằng các phản ứng lưỡng chức năng	Khó kiểm tra mức lưới

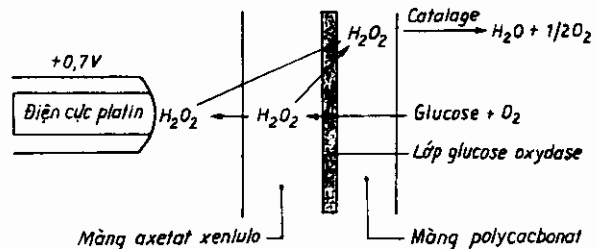
Kỹ thuật cố định	Ưu điểm	Nhược điểm
Ghép phối đồng hóa trị	- Rất ổn định, có thể bảo toàn sự có thể đạt tới vị trí, thời gian đáp ứng rất ngắn	Cần mặt chuyển đổi hay màng chức năng
Langmuir-Blogett	- Nhiều loại phản ứng có thể - Kỹ thuật mềm Thu được các phân tử dễ điều khiển	Sự ổn định phân tử kém Dành cho các bộ chuyển đổi phẳng

Nhiều kỹ thuật được phát triển để cố định enzym trên các điện cực dòng điện hay điện thế nhưng chúng cũng được ứng dụng cho các protein khác như tiểu cầu miễn dịch dùng cho cảm biến miễn dịch. Chúng cũng được ứng dụng cho loại cảm biến khác trừ trường hợp quá trình cố định đồng hóa trị cần vị trí phản ứng bề mặt.

Trong một số trường hợp phân tử hoạt tính có thể nằm trong một cơ thể sống. Giải pháp này có nhiều ưu điểm, đặc biệt khi tế bào tro hoặc mảnh tế bào sống không cần làm sạch và tách bóc đắt tiền. Hơn nữa sự ổn định và hoạt tính của enzym lớn hơn hoạt tính của các tế bào tương tự được làm sạch bằng điện cực enzym nhạy nhất, có tuổi thọ cao và cuối cùng là sự thể hiện của nhiều yếu tố, nhiều enzym có thể làm đơn giản cấu tạo của điện cực và tránh phải sử dụng nhiều lớp.

Chức năng hóa bộ chuyển đổi là giai đoạn bản lề trong việc thực thi một cảm biến y sinh và cần được xem xét theo chức năng sử dụng, đặc biệt là môi trường thử nghiệm ví dụ độ nhớt, khả năng miễn dịch, khả năng lắng đọng.

Hình 13.20 trình bày sự tối ưu hóa màng enzym do hãng Yelow Springs đưa ra. Ở đây bước đầu enzym được cố định theo quá trình tạo lưới nằm giữa hai màng. Màng polycarbonat thấm thấu glucô ngăn chặn sự khuếch tán của các



Hình 13.20. Hệ thống YSI thực hiện một màng enzym điện cực glucô.

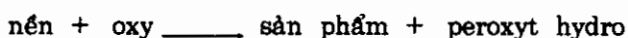
phân tử khối lượng lớn như các protein, trong khi axetat xenlulô tạo nên hàng rào chắn đối với chúng.

Chất này thẩm thấu vào các phân tử kích thước peroxyt hidro cho phép H_2O_2 đạt đến điện cực nhạy platin. Ở đây sự hiện diện của catalaza cho phép tránh được nồng độ quá lớn của peroxyt hydro làm tổn hại đến oxydaza glucô.

Người ta đã đưa ra các kỹ thuật khác, đặc biệt là các điện cực enzym, ví dụ bằng cách đưa vào trong các màng dẫn polyme trực tiếp tạo nên bề mặt điện cực hoặc bằng hỗn hợp bột cacbon. Quá trình này dễ chế tạo cho phép chuyển qua các dung dịch nội tại, hơn nữa có thể đổi mới bề mặt điện cực bằng cách đánh bóng.

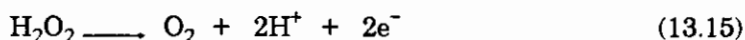
13.6.3. Một số sản phẩm cảm biến y sinh có trên thị trường

Các điện cực enzym dòng điện thương phẩm được sử dụng trong thực tế thường là oxydoza phân tích phản ứng oxy hóa sau đây :



Như vậy glucô oxydaza có mặt oxy xúc tác các thành phần glucô thành gluconolactone và peroxyt hydro. Phát hiện chúng bằng cách đo biến thiên của nồng độ oxy tự nhiên tiêu thụ hoặc bằng peroxyt hydro sản sinh trong quá trình xúc tác sinh học.

Việc phát hiện peroxyt hidro có thể được thực hiện bằng cách đo dòng điện oxy hóa trên điện cực platin phân cực ở 0,7 V so với điện cực chuẩn Ag/AgCl.



trong khi đó phát hiện oxy bằng cách đo dòng catot trên các điện cực, thường là điện cực Clark, điện cực platin hoặc vàng phân cực ở -0,7 V so với điện cực chuẩn Ag/AgCl.

Việc sử dụng chất trung gian cho phép vượt qua các nhiễu do phản ứng oxy hóa khử ở các điện cực thế. Hiện nay có rất ít các cảm biến y sinh thương phẩm. Điều này là do một mặt khó thỏa mãn các đòi hỏi của chức năng nhờ phân tử sinh học của các bộ chuyển đổi, mặt khác là các thách thức sử dụng. Điều đầu tiên dẫn tới chỉ duy trì các điện cực enzym dựa trên oxy hóa. Điều thứ hai liên quan đến việc đa dạng trong phạm vi sử dụng và gam nồng độ thường gặp.

Các điện cực enzym cho phép định lượng glucô và lactate đáp ứng tốt cho định lượng các loại trong plasma, các môi trường tế bào hoặc

tổng hợp men, nhưng trong thực tế không thể sử dụng ri đường, rượu mùi. Cũng vậy có thể định lượng lactate trong máu nhưng không thể xác định gluco trong môi trường này.

Thực vậy khác với các cảm biến điện hóa trong đó cùng một cảm biến có thể thỏa mãn cho nhiều ứng dụng, trừ một vài ứng dụng đặc biệt, các cảm biến y sinh cần phải được chế tạo cho một ứng dụng, một công dụng riêng biệt. Ví dụ việc kiểm tra mức có thể thỏa mãn để phát hiện mầm bệnh của hệ thống cảnh báo, nhưng để theo dõi bệnh nhân tiểu đường đòi hỏi biết chính xác diễn biến theo thời gian của nồng độ glucô trong máu của bệnh nhân. Hơn nữa các cảm biến y sinh chịu sự cạnh tranh của các hệ thống phân tích của chính các nhà chế tạo. Cuối cùng không phải bao giờ người sử dụng cũng sẵn sàng chấp nhận các giới hạn về ổn định, tuổi thọ và sự bảo toàn các phần tử trong hoạt tính sinh học.

Các cảm biến y sinh được phát triển có liên quan chặt chẽ với công nghệ sinh học. Các cảm biến sẵn có trên thị trường ngày nay còn rất ít, ngoại trừ một số loại của Nhật để xác định DBO bằng các điện cực enzym dùng định lượng *D* glucô và *L*-lactole. Trên toàn thế giới có dưới 20 hãng cung cấp và phân phối các cảm biến y sinh, chủ yếu ở Nhật và Mỹ. Bảng 13.4 cho các đặc tính chính của các điện cực y sinh của Orion.

Bảng 13.4.

Các đặc tính chủ yếu của điện cực y sinh Orion

Loại định lượng	D-glucô	Sacarô	Lactô
Gam làm việc	0,3 đến 3,0 gL ⁻¹	0,6 đến 6,0 gL ⁻¹	0,6 đến 6,0 gL ⁻¹
Thời gian đo	20 s	20 s sau 10 phút ủ	20 giây sau 10 phút ủ
Khả năng hồi phục sau 10 phép đo	2%	2%	2%
Khả năng phân tích	Đo trực tiếp sau khi pha loãng lấy mẫu trong một nắp	Đo sau khi ủ 10 phút ở môi trường enzym bảo quản saccaro	Đo sau khi ủ 10 phút ở môi trường bảo quản lactô
Ví dụ loại phân tích thích hợp nhất	Bột ca cao, mật ong	Nước quả	Sữa chua

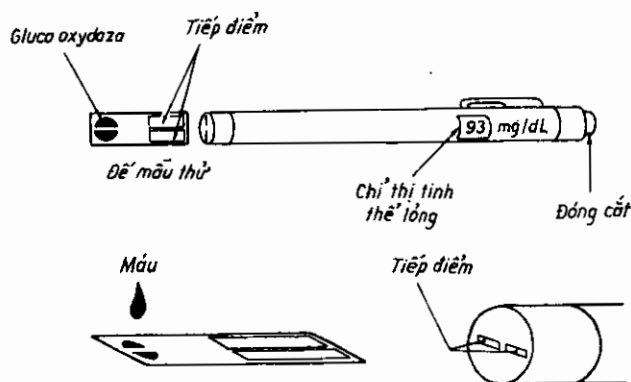
Bảng 13.5 cho các đặc tính chủ yếu của cảm biến y sinh Microzym L.

Các đặc tính chủ yếu của cảm biến y sinh Microzym-L

Loại định lượng	L-lactate	D-glucose	Saccarô	Lactô
Ngưỡng phát hiện	5.10^{-5} M	$2.5.10^{-4}$ M	đang phát triển	đang phát triển
Tuyến tính	0,05 đến 1,5 mM	0,25 đến 25 mM		
Khả năng phục hồi	$\pm 0,02$ mM	$\pm 0,1$ mM đối với (0,25 đến 2,5 mM) $\pm 0,5$ mM đối với (2,5 đến 25 mM)		
Tuổi thọ tái hồi enzym	200 lần đo hoặc 15 ngày ở 4°C	400 lần đo hoặc từ 20 đến 30 ngày ở 4°C		
Máu	có	không		
Plasma	có thể	có thể		
Trứng	có	có thể	có thể	
Sản phẩm sữa	có	có thể	có thể	có thể
Môi trường men tổng hợp	có	có	có	có
Cấy tế bào	có	có	có thể tế bào còn trùng	

- Cảm biến y sinh DBO

Cảm biến vi khuẩn do giáo sư Karube (Nhật) được đưa vào cảm biến DBO do hãng Nissin Electric Co cung cấp, dựa trên biến đổi của một chất hữu cơ ô nhiễm của các tế bào đo bằng điện cực phân giải oxy.

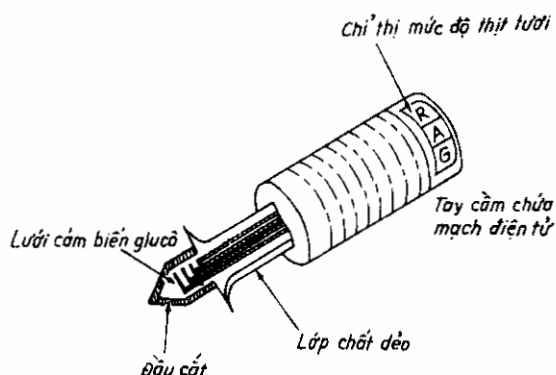


Hình 13.21. Điện cực bỏ túi Exatech để định lượng glucô.

Cho phép mở rộng phạm vi sử dụng tới 50° , dùng trong xử lý nước thải công nghiệp.

- *Cảm biến glucô trong máu*

Hiện nay có nhiều loại cảm biến phát hiện glucô trong máu. Các thiết bị có kích cỡ nhỏ như cây bút hoặc thẻ tín dụng. Người sử dụng nhận biết hàm lượng glucô trong máu sau 30 s trên màn tinh thể lỏng.



Hình 13.22. Đầu thử chất lượng thịt.

Trong lĩnh vực thực phẩm đầu dò kiểu con dao (hình 13.22) cho phép đánh giá chất lượng thịt đông lạnh nhờ sử dụng các mạng cảm biến glucô.

Cuối cùng những tiến bộ trong lĩnh vực quang điện tử cho phép tạo nên các hình ảnh kích thước phân tử như kính hiển vi lực nguyên tử trong môi trường chất lỏng, vì thế có thể quan sát trực tiếp phát hiện sinh học và thâm nhập vào các phản ứng ở quy mô nano.

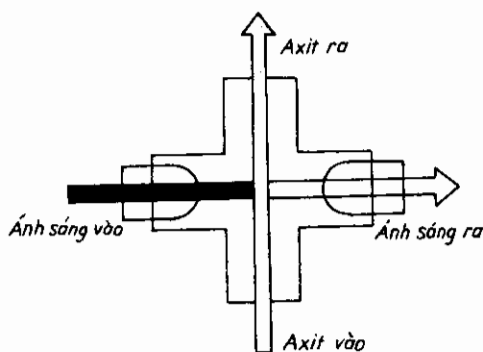
13.7. CẢM BIẾN QUANG ĐỊNH LƯỢNG ĐỘ AXIT CỦA DUNG DỊCH

Phương pháp đo độ axit trong chất thải do các nhà khoa học phòng thí nghiệm quốc gia Los Alamos đề xướng nhằm giúp cho việc xử lý môi trường. Người ta sử dụng cảm biến quang đo nồng độ axit ở mức cao hơn so với thiết bị hiện có. Bộ cảm biến nồng độ axit cao gồm có phần tử đo lưu lượng (hình 13.23) có tiết diện $87,5 \text{ mm}$ trong đó đặt hai thấu kính silic và kín một đầu. Cấp quang nối hai thấu kính với quang phổ kế. Một thấu kính được phủ bằng vật liệu polyme nhạy về hóa học bao

quanh thấu kính và bộ chỉ thị. Dung dịch axit chảy theo chiều thẳng đứng.

Ánh sáng từ nguồn cố định trong quang phổ kế được chuẩn trực bằng thấu kính có bao phủ, qua dung dịch axit rồi tụ tiêu bằng thấu kính thứ hai.

Tỷ số ánh sáng hấp thụ do chỉ thị phụ thuộc vào nồng độ axit của dung dịch. Phổ hấp thụ của bộ chỉ thị phản ánh nồng độ ion hydro của dung dịch và do đó đo được nồng độ axit.



Hình 13.23. Cảm biến quang đo nồng độ axit.

Vùng nhạy của bộ cảm biến có nồng độ axit từ 4 đến 12 *mol*, không cảm nhận được bằng kỹ thuật đo nồng độ axit khác. Các kỹ thuật này không thích hợp với dung dịch đo có độ pH âm hoặc đo quá trình hóa học. Với bộ cảm biến này có thể đo nồng độ axit cao trong khoảng thời gian dưới 3 *phút* nhanh hơn đo bằng cách lấy mẫu bằng tay 50 *lần*.

Vật liệu cảm nhận có thể làm việc với nồng độ axit cao trong khoảng từ 4 đến 6 *tháng* với việc chuẩn độ sau khoảng gần một tuần và mỗi năm chỉ cần thay một hay hai lần.

Bộ cảm biến được sử dụng theo nguyên lý tương tự cảm biến mới được phát triển để đo nồng độ axit thấp.

Bộ cảm biến được lựa chọn theo nồng độ cần đo bởi vì các lỗ nhỏ của pôlyme chỉ cho phép ion hydro qua bộ chỉ thị. Các ion kim loại không gây phức tạp cho bộ chỉ thị. Bộ cảm biến thuận nghịch về hóa học.

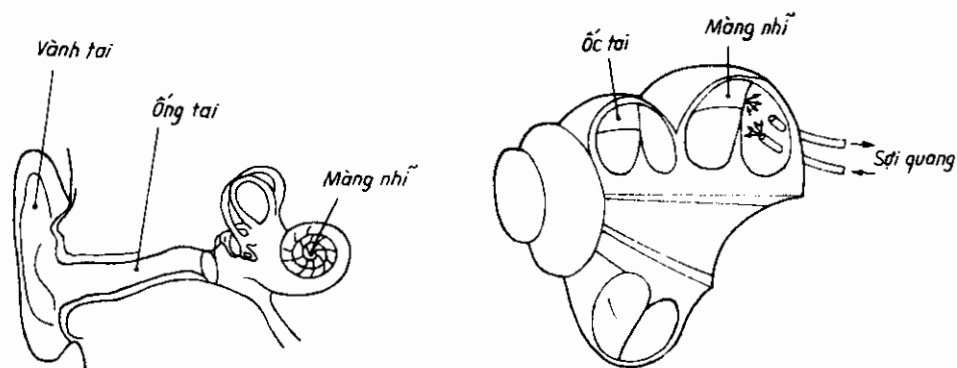
Bộ cảm biến được sử dụng để chỉ báo các quá trình hóa học có nồng độ axit cao và dung dịch nước thải, ví dụ trong gia công kim loại, xử lý dầu, sản xuất axit, đánh bóng kim loại điện hóa...

Việc sử dụng bộ cảm biến nồng độ axit cao sẽ tiết kiệm thời gian và công sức đo và phân tích mẫu. Bộ cảm biến này có thể sử dụng trong các dây chuyền sản xuất cho phép điều khiển và quản lý rác thải trước khi chúng có thể gây những vấn đề ô nhiễm. Hiệu quả sử dụng tăng ít nhất 25% vì không cần tái sinh lại vật liệu, chỉ báo chắc chắn nồng độ

axit ngay từ lần thử đầu tiên. Từ năm 1991 với 500 dụng cụ đo nồng độ axit cao đã tiết kiệm 99 500 USD, 99,5% chi phí phòng thí nghiệm ở năm đầu tiên. Vì bộ cảm biến đo nồng độ axit không tạo nên chất thải, không phải sử dụng xút.

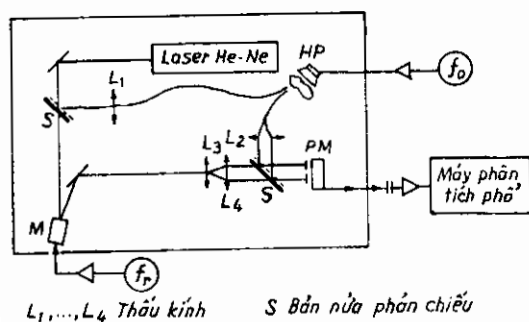
13.8. GIAO THOA KẾ SỢI QUANG NGHIÊN CỨU CHUYỂN ĐỘNG CỦA MÀNG NHÍ

Giao thoa kế sợi quang do Viện ISL (Viện nghiên cứu Pháp - Đức ở Saint - Louis) nghiên cứu đặt trong tai người bệnh. Ánh sáng vào sợi quang chiết suất nhảy bậc đường kính ngoài 100 μm , đường kính lõi 60 μm và chiếu sáng màng nhĩ (hình 13.24a và b).

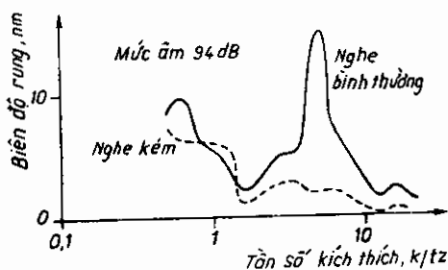


a) Sơ đồ tai;

b) Đặt các sợi quang vào tai;



c) Sơ đồ giao thoa kế;



d) Sự di chuyển của màng nhĩ theo tần số kích thích

Hình 13.24. Nghiên cứu sự chuyển động của màng nhĩ sử dụng giao thoa kế sợi quang.

Ánh sáng khuếch tán ngược được điều biến bằng chuyển động của màng nhĩ và được phối hợp với sợi quang thứ hai tạo nên giao thoa trên cửa vào của bộ nhân quang điện PM với ánh sáng chuẩn được điều biến bằng gương áp điện M tần số f (hình 13.24c).

Tai được kích thích bằng tần số f_0 do loa HP tạo nên. Tín hiệu tần số lấy từ bộ nhân quang điện cho biết tỷ số biên độ chuyển động của màng nhĩ và của gương áp điện. Biểu đồ di chuyển của màng nhĩ theo tần số kích thích được cho trên hình 13.24d.

13.9. CẢM BIẾN CỰC NHẠY PHÁT HIỆN ĐƠN PHÂN TỬ

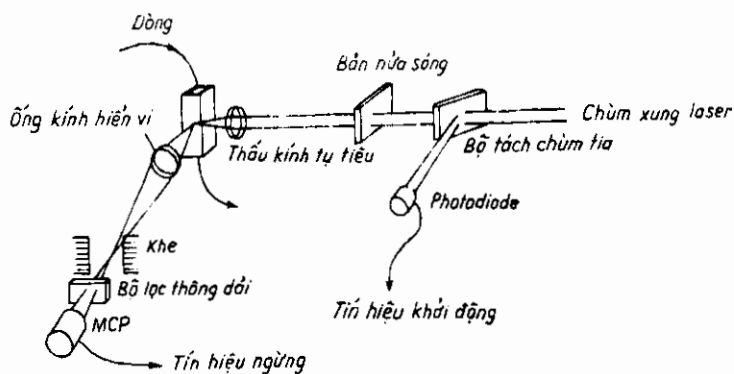
Nâng cao độ nhạy của các thiết bị nghiên cứu là mục tiêu lâu dài của các nhà vật lý, sinh vật và hóa học. Với bộ phát hiện đơn phân tử các nhà nghiên cứu đã đạt được mục đích cuối cùng là phát hiện đơn phân tử huỳnh quang trong chất lỏng. Dụng cụ mới này nhạy gấp trăm lần so với dụng cụ có trên thị trường, tạo nên những khả năng mới trong lĩnh vực khoa học và công nghệ từ DNA, phân tích hóa lý, nghiên cứu virus để nhận biết chất ô nhiễm môi trường.

Trước đây các nhà khoa học đã khảo sát các phân tử riêng rẽ trong chân không, nơi chúng bị cách ly và phát hiện tương đối dễ dàng. Tuy nhiên nhiều quá trình sinh học và hóa học xảy ra trong môi trường chất lỏng, nơi có hàng tỷ phân tử khác bao quanh phân tử quan tâm. Phát triển bộ phát hiện đơn phân tử trong môi trường là công việc rất khó khăn. Kỹ thuật khảo sát liên quan với các phân tử nhuộm huỳnh quang với các phân tử khác và khi kích thích chúng bằng cách cho chùm xung laser qua dung dịch một cách nhanh chóng có thể phát hiện ánh sáng hay photon mà chúng phát ra. Thời gian huỳnh quang tồn tại ngắn hơn so với thời gian phân tử truyền trong chùm tia laser, do đó mỗi phân tử được tái kích thích nhiều lần. Hình 13.25 trình bày sơ đồ bộ phát hiện đơn phân tử trong dung dịch.

Thấu kính hoặc vật kính hiển vi và khe được bố trí để ánh photon từ vùng nhỏ quanh chùm tia laser chụm vào bản phẳng bộ nhân quang (Microchannel Plate Photomultiplier MCP) đếm các hạt riêng. Cường độ ánh sáng kích thích từ laser được chặn bằng bộ lọc phổ, nó tập trung gần đỉnh bước sóng huỳnh quang. Ánh sáng kích thích là các xung ngắn khoảng 70 tỉ trong một giây. Phân tử khô không phát ánh sáng cho đến khi xung thứ một tỷ đã kích thích. Để nhận dạng các phân tử riêng biệt một cách chắc chắn sử dụng kỹ thuật tối đa hóa số photon được phát hiện và tối thiểu hóa số photon nền. Mặc dù vẫn còn lại photon nền nhưng ghi lại trên 85% phân tử huỳnh quang.

Được phát triển nhằm mục đích nhận biết nhiều sắc thể trong để án nghiên cứu gen con người, bộ cảm biến độ nhạy cao cho phép đánh giá DNA nhanh gấp trăm lần kỹ thuật hiện hành. Nó cũng hạn chế dùng chất phóng xạ, gel và các dung dịch điện chuyển, thường gây ra một số vấn đề, cũng như giúp cho chẩn đoán và điều trị bệnh do di truyền như đái tháo đường, u xơ tuyến.

Bộ cảm biến cực nhạy có thể được sử dụng để tìm vi lượng hóa, enzyme, virus trong máu và chỉ báo ô nhiễm môi trường. Nó cũng có thể được sử dụng trong nghiên cứu tác động của virus, hiệu quả của vaccin, như vaccin chống bệnh AIDS.



Hình 13.25. Cảm biến cực nhạy.

13.10. CẢM BIẾN PHÁT HIỆN VÀ ĐIỀU TRỊ UNG THƯ PHỔI

Phương pháp phát hiện sớm ung thư phổi nhanh chóng và chính xác đã nâng cơ hội sống cho bệnh nhân từ dưới 50% đến 80 hoặc 90%. Cho đến nay các tế bào ung thư phổi nhỏ và sâu không thể phát hiện được bằng X quang trước khi tạo nên khối u đủ rộng. Các nhà nghiên cứu tại phòng thí nghiệm quốc gia Los Alamos (LANL) cộng tác với các viện khác, trong đó có Trường Đại học Y khoa Johns Hopkins và Bệnh viện St. Mary ở Grand Junction, Colorado đã phát triển phương pháp phát hiện và điều trị ung thư phổi ở giai đoạn sớm nhất.

Bộ cảm biến phát hiện porphyrin, một họ hóa chất không bình thường tìm thấy trong cơ thể và tập trung ở các tế bào ung thư. Hóa chất bổ sung vào mẫu đờm từ phổi. Khi chiếu tia tử ngoại hoặc ánh sáng laser, các tế bào này sẽ phát màu đỏ. Khi nhìn mẫu qua kính hiển vi tỷ lệ và cường độ huỳnh quang trong tế bào xác định có ung thư hay không.

Thử nghiệm kỹ thuật phát hiện trên lâm sàng đầu tiên sử dụng porphyrin do LANL và Bệnh viện St. Mary tiến hành vào năm 1988. Bốn porphyrin khác nhau được thử trên mẫu đờm của hai thợ mỏ, một người bị ung thư phổi, còn người kia vẫn chưa phát hiện bị ung thư. Một porphyrin chỉ tập trung trong tế bào của người thợ bị ung thư phổi. Các thử nghiệm khác đi đến kết luận rằng đó là các tế bào ung thư. Về sau nghiên cứu mẫu đờm của 12 bệnh nhân trong số đó 18 người bị ung thư phổi ở các giai đoạn khác nhau, đã nhận biết được tất cả các bệnh nhân ung thư cũng như người thứ chín ban đầu không bị ung thư. Những xét nghiệm tiếp chứng tỏ các bệnh nhân này đều bị ung thư phổi.

Khi phát hiện bệnh nhân thứ chín thúc đẩy nghiên cứu mới, trong đó đánh giá khả năng phát hiện tế bào tiền ung thư phổi. Trong nghiên cứu này các mẫu đờm lấy từ Trường y khoa Johns Hopkins đã được điều trị với porphyrin. Tia X không phát hiện được các điều kiện tiền ung thư nhưng cảm biến này phát hiện triệu chứng tiền ung thư trước khi trở bệnh 3 đến 4 năm.

Cộng tác với công nghiệp điện tử y sinh, các nhà nghiên cứu hy vọng phát triển dụng cụ này trong vài năm tin học hóa để tự động và nhanh chóng phát hiện bệnh cho những người nghiện thuốc lá, thợ mỏ và những người có nhiều nguy cơ bị ung thư phổi. Vì ung thư phổi chiếm tỷ lệ tử vong hàng đầu đối với cả nam và nữ, dụng cụ y tế này sẽ giảm nhẹ tử vong.

Ngoài chương trình phát hiện có kết quả ung thư phổi sớm LANL hy vọng phát triển việc điều trị ung thư phổi sớm. Viện ung thư quốc gia sẽ giúp đỡ nghiên cứu cả chương trình dự đoán và điều trị. Các nhà nghiên cứu đang tiến hành thử nghiệm trên gia súc để nghiên cứu ảnh hưởng của porphyrin đối với ung thư phổi, sử dụng đồng phóng xạ để tiêu diệt sớm tế bào ung thư phổi. Porphyrin không chỉ tìm thấy trong phổi mà cũng có ở cấu trúc tế bào. Một lượng đồng 67 phóng xạ đặt trong porphyrin sẽ phá hủy khối u có kích cỡ mũi kim.

13.11. BỘ CẢM BIẾN PHÁT HIỆN VỚI LƯỢNG LẤY MẪU RẤT NHỎ

Thiết bị mới này dựa trên hiện tượng huỳnh quang kích thích bằng laser phát hiện các vật liệu sinh học ... cần lấy mẫu rất nhỏ, do phòng thí nghiệm Ames phát minh năm 1991.

Bộ phát hiện hàm lượng Mirofluor của Ames dùng cho yêu cầu kỹ thuật phát hiện nghiên cứu gen, lạm dụng thuốc, chất độc, sự hình thành

DNA, axit amin mà chỉ cần lượng lấy mẫu nhỏ. Mặc dù đã có nhiều phương pháp mạnh và hiệu quả dùng cho việc phân tích hỗn hợp sinh học với mẫu rất nhỏ, ví dụ hiện tượng điện chuyển mao dẫn nhưng bộ phát hiện Microfluor kết hợp có độ nhạy rất cao với khả năng phân tích khối lượng rất nhỏ. Dụng cụ được thiết kế dựa trên nguyên lý nhiều chất sinh học là chất huỳnh quang trong khi nhiều chất khác như pepsin oligonucleotide có thể là chất huỳnh quang khi thêm tác nhân huỳnh quang. Khi đặt ống lấy mẫu vào bộ phát hiện. Microfluor, chiếu bằng chùm tia laser thì mẫu sẽ phát huỳnh quang.

Bộ phát hiện sẽ phát hiện, hiển thị, định lượng hàm lượng bằng cách đo cường độ ánh sáng huỳnh quang phát ra. Tín hiệu tỷ lệ với nồng độ vật chất, hằng số tỷ lệ đặc trưng cho vật liệu.

Có thể thực hiện phân tích mẫu với kích thước nhỏ hơn mẫu của phương pháp khác 50 lần và nồng độ rất thấp chỉ có 10^{-11} mol. Thông thường các thành phần tới hạn trong mẫu có nồng độ rất thấp. Bộ phát hiện Microfluor tương thích với ống điện chuyển, có thể làm việc trong phòng ánh sáng thông thường.

Bộ phát hiện Microfluor đã được sử dụng để xác định sự kéo dài và hình thành, cơ sở biến đổi DNA do vậy có thể nghiên cứu ảnh hưởng của khối u đối với cơ thể sống, nghiên cứu protein. Với việc phát hiện huỳnh quang trực tiếp hoặc gián tiếp các nhà nghiên cứu đang sử dụng kỹ thuật này trong nghiên cứu hàm lượng hóa học của tế bào sống, điều đó cho phép thử nghiệm các dược phẩm nhanh và an toàn.

Chương 14

CẢM BIẾN BỨC XẠ HẠT NHÂN

Hiện tượng phóng xạ do Henry Becquerel tìm ra năm 1896 khi phát hiện nguyên tử uranium tác động lên giấy ảnh bọc kín. Ngoài các chất phóng xạ tự nhiên còn có nhiều chất phóng xạ nhân tạo. Mỗi nguyên tố phóng xạ là một nguồn bức xạ hạt nhân. Những bức xạ này phụ thuộc vào bản chất của nguồn và được tạo nên bởi các hạt điện tích α , β hoặc không mang điện tích như photon, neutron, γ .

Sự tương tác của các bức xạ với vật chất cho phép phát hiện những bức xạ này và nghiên cứu môi trường vật chất mà chúng đi qua.

Hệ thống nghiên cứu bức xạ hạt nhân bao gồm nguồn bức xạ, bộ cảm biến phóng xạ và đối tượng nghiên cứu đặt ở vị trí thích hợp. Một phần của chùm tia tới đối tượng nghiên cứu được truyền đến hoặc tán xạ đến cảm biến phát xạ hạt nhân và do đó sẽ phản ánh thông số vật lý của môi trường như chiều dày, mật độ, khuyết tật...

Ưu điểm quan trọng của phương pháp phóng xạ hạt nhân là đo gián tiếp, đo được đối tượng chuyển động, đo qua thành bình, đo trong các môi trường khó tiếp cận như môi trường có áp suất, nhiệt độ cao, có ăn mòn hóa học, là phương pháp đo không phá hủy mẫu.

Gọi N là số hạt nhân chưa phân rã và dN là số hạt nhân phân rã trong khoảng thời gian dt , quy luật phân rã hạt nhân của các chất phóng xạ cho bởi phương trình :

$$dN = -\lambda N dt \quad (14.1)$$

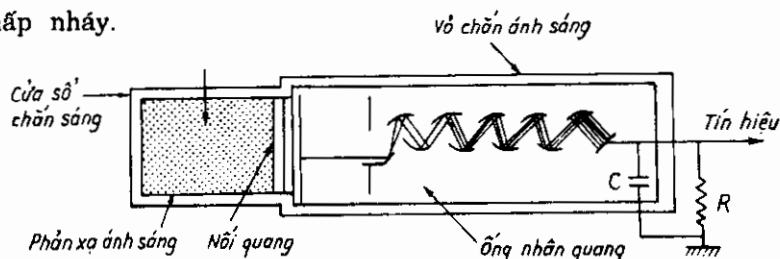
trong đó λ là hằng số phân rã của chất phóng xạ, là số hạt nhân bị phân rã trong khoảng thời gian. Trong hệ SI đơn vị hoạt tính phóng xạ là becquerel (Bq) tương đương hoạt tính của một nucleide phóng xạ với số chuyển đổi tự phát trong một giây bằng 1.

Ngoài đơn vị becquerel (Bq) người ta còn sử dụng đơn vị curie với $1 \text{ curie} = 3,7.10^{10} \text{ becquerel}$.

Khi đo liều lượng bức xạ ion hóa của tia X và γ ta dùng đơn vị điện tích Culông trên 1 kg không khí khô hoặc roentgen $= 2,58.10^{-4} \text{ C/kg}$.

14.1. ĐẦU ĐO NHẮP NHÁY

Đầu đo nhấp nháy là một hệ gồm bộ nhấp nháy và bộ nhân quang (hình 14.1). Bộ nhấp nháy được làm từ vật liệu cho phép chuyển đổi năng lượng của hạt tới thành photon có bước sóng ánh sáng giữa màu xanh và cực tím. Các photon tới photocatot của bộ nhân quang làm phát xạ điện tử ở đó. Sau đó chúng được nhân lên do hiện tượng phát xạ thứ cấp và được thu lại ở anốt và hình thành dòng điện đầu ra của đầu đo nhấp nháy.



Hình 14.1. Đầu đo nhấp nháy.

Sự phát sáng của bộ nhấp nháy là do năng lượng tới làm cho nguyên tố hoặc phân tử bị kích thích. Khi trở về trạng thái cơ bản chúng phát ra photon. Trong một số chất hữu cơ như antraxen, toluen sự phát quang xuất hiện cả ở trạng thái rắn và trạng thái lỏng. Trong các chất vô cơ như ZnS, NaI sự phát quang chỉ xảy ra trong tinh thể. Để phát hiện các hạt điện tích phải dùng ZnS và các vật liệu hữu cơ nhẹ.

Các hạt γ được phát hiện một cách gián tiếp bằng hiệu ứng nhấp nháy do các điện tử được giải phóng do hiệu ứng quang điện trong vật liệu NaI, CsI. Người ta cũng phát hiện các neutron nhiệt nhờ hỗn hợp của Bor và ZnS, hiệu ứng nhấp nháy gây nên do các hạt α phát ra khi vật liệu bị các neutron nhiệt bắn phá.

Mặc dù gọi là ống nhân quang điện nhưng thực tế là bộ nhân điện tử mà không phải là nhân photon. Ví dụ chùm tia gamma có động năng 0,5 MeV. Trong thành được kích hoạt bằng NaI hiệu suất nhấp nháy là 13% do đó năng lượng tổng là $0,5 \times 0,13 = 0,065 \text{ MeV}$ hay 65 keV năng lượng được biến đổi thành ánh sáng nhìn thấy với năng lượng trung bình 4 eV, do đó chỉ có 5000 photon được tạo nên trên một xung γ là số

lượng rất nhỏ mà bộ đo quang thông thường phát hiện được. Vì thế cần sử dụng bộ nhân quang. Với 15000 photon chỉ có 10.000 đến được photon catot nghĩa là hiệu suất lượng tử khoảng 20%. Photocatot biến đổi năng lượng photon tới thành năng lượng điện tử và tạo nên khoảng 2000 điện tử trong một xung. Đầu đo tuyến tính nghĩa là không phụ thuộc vào số điện tử được nhân. Vì các điện cực có điện thế dương nên các điện tử rời photocatot sẽ đến anot thứ nhất, đập vào bề mặt của nó và giải phóng điện tử. Tiếp theo các điện tử sẽ dễ dàng đạt tới anot thứ hai và tiếp tục phát xạ điện tử và đạt tới anot thứ ba. Quá trình nhân điện tử cứ tiếp tục và tạo nên hiệu ứng thác với hệ số nhân khoảng 10^6 . Kết quả có khoảng $2 \cdot 10^9$ điện tử sẽ đến anot cuối và tạo nên dòng điện đáng kể.

Ưu điểm của đầu đo nhấp nháy là có thể biến đổi động năng của các hạt mang điện thành ánh sáng phát hiện với hiệu quả cao, biến đổi là tuyến tính, ánh sáng tỷ lệ với năng lượng tới trong dải rộng, cho phép phát hiện nhanh, chiết suất của vật liệu gần bằng chiết suất thủy tinh cho phép phối ghép quang với ống nhân quang.

Nhược điểm của đầu đo là phức tạp vì phải sử dụng ống nhân quang và có độ phân giải năng lượng thấp.

14.2. ĐẦU ĐO ION HÓA CHẤT KHÍ

14.2.1. Nguyên lý

Trong một thể tích chứa chất khí có hai điện cực đặt dưới điện áp không đổi, khi bức xạ hạt nhân chiếu tới làm ion hóa và giải phóng các điện tích. Các điện tích này được thu lại ở các điện cực. Các điện cực này thường có dạng hình trụ vỏ ngoài đóng vai trò catot và thường xuyên nối đất, còn anot là sợi dây mảnh đồng trục được đặt vào điện áp nhất định.

Năng lượng trong bình W_1 cần thiết để tạo nên cặp điện tử ion phụ thuộc vào bản chất của chất khí và năng lượng cũng như bản chất của hạt chiếu tới.

Nếu hạt mất một năng lượng W khi đi qua thể tích của đầu đo thì nó tạo ra N_0 cặp điện tử - ion :

$$N_0 = \frac{W}{W_1} \quad (14.2)$$

Các hạt điện tích này chuyển động trong điện trường E với tốc độ tỷ lệ với E , vào bản chất và áp suất chất khí. Tốc độ của điện tử lớn hơn tốc độ của ion rất nhiều cho nên điện tử đạt tới anot trước khi ion di chuyển được một khoảng không đáng kể. Nếu điện trường đủ mạnh,

các điện tử thu được năng lượng đủ lớn để tạo ra các cặp điện tử-ion mới do va chạm với phân tử khí. N điện tử sẽ gây ra dN cặp điện tử-ion mới trên quãng đường dx , nghĩa là :

$$dN = \alpha \cdot N \cdot dx \quad (14.3)$$

α là hệ số phụ thuộc điện trường E , áp suất p và bản chất của chất khí theo biểu thức :

$$\frac{\alpha}{p} = A \cdot \exp\left(-\frac{Bp}{E}\right) \quad (14.4)$$

trong đó A và B là các hằng số. Quá trình ion hóa thứ cấp xảy ra trong không khí ngay từ khi tỷ số $E/p > 22,5 \text{ mV/cm.Pa}$, tương đương với 2300 V/cm ở áp suất 1 atm . Đối với N_0 cặp điện tử-ion tạo thành trong thể tích khí có ích của đầu đo số điện tích N thu được ở điện cực và biên độ tín hiệu ra phụ thuộc vào điện áp điện cực. Theo giá trị của V người ta phân biệt các chế độ làm việc khác nhau của đầu đo (hình 14.2).

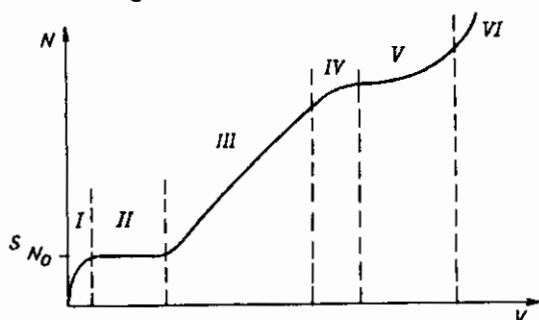
Vùng I : E tương đối nhỏ, một phần điện tử và ion tái hợp trước khi đến được điện cực, $N < N_0$.

Vùng II : tất cả các điện tích hình thành đều đến được điện cực và bị thu gom nên không phụ thuộc vào điện thế V , $N = N_0$. Chế độ này gọi là chế độ buồng ion hóa.

Vùng III : là vùng có sự nhân hạt tải do va chạm $N = MN_0$, hệ số nhân M không phụ thuộc vào N_0 và có thể đạt tới 10^3 . Đây là chế độ đếm tỷ lệ.

Vùng IV : là vùng hệ số nhân M phụ thuộc vào N_0 , là chế độ bán tỷ lệ.

Vùng V : là vùng tín hiệu ra của đầu đo không phụ thuộc vào N_0 , đây là chế độ đếm Geiger - Muller.



Hình 14.2. Các chế độ làm việc của đầu đo bức xạ hạt nhân bằng ion hóa chất khí.

Vùng VI : là vùng hoạt động không ổn định, xảy ra hiện tượng phóng điện trong chất khí khi đạt tới điện áp phóng điện.

14.2.2. Bường ion hóa

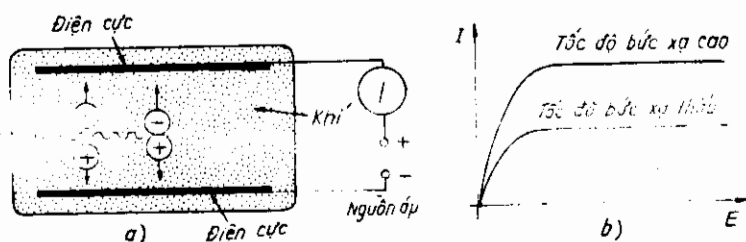
Khi buồng bức xạ chiếu liên tục qua chất khí chứa trong dầu đo tại anot sẽ thu được dòng điện. Ít nhất hạt phải truyền năng lượng bằng năng lượng ion hóa của phân tử khí để xảy ra quá trình ion hóa. Với đa số khí quan tâm năng lượng ion hóa nằm trong khoảng 10 đến 20 eV. Tuy nhiên do một số cơ chế làm các hạt tới có thể mất năng lượng do đó năng lượng trung bình lớn hơn năng lượng ion hóa. Trị số năng lượng này phụ thuộc vào loại khí, loại bức xạ và năng lượng của chúng và được cho trong bảng 14.1.

Bảng 14.1.

Năng lượng tổn hao trung bình do hạt trên cặp ion hình thành

Loại khí	Năng lượng eV/cặp ion	
	Điện tử nhanh	Alpha
A	27,0	25,9
He	32,5	31,7
N ₂	35,8	36,0
Không khí	35,0	35,2
CH ₄	30,2	29,0

Với thể tích khí đã cho tốc độ hình thành cặp ion là không đổi. Với thể tích khí bất kỳ, tốc độ hình thành sẽ cân bằng với tốc độ cặp ion tổn hao trong thể tích, hoặc do tái hợp. Nếu sự tái hợp không đáng kể tất cả điện tích được thu gom sẽ tạo nên dòng điện xác lập, do chính xác tốc độ hình thành cặp ion. Hình 14.3 trình bày cấu tạo của buồng ion và đặc tính dòng/áp của nó.



Hình 14.3. Sơ đồ đơn giản buồng ion hóa (a) và đặc tính dòng/áp (b).

Khi điện áp còn thấp các ion tái hợp mạnh đặc tính dòng điện tỷ lệ thuận với điện áp. Khi điện áp đủ lớn không còn hiện tượng tái hợp, dòng điện không phụ thuộc vào điện áp nhưng vẫn phụ thuộc vào cường độ bức xạ, vùng này gọi là vùng bão hòa là vùng hoạt động của buồng ion hóa.

14.2.3. Buồng tỷ lệ

Nguyên lý hoạt động của buồng tỷ lệ dựa vào việc sử dụng hiệu ứng nhân do va chạm số ion N_0 hình thành khi có chùm tia bức xạ chiếu vào chất khí. Hệ số nhân M vào khoảng $10^2 + 10^3$ phụ thuộc vào bản chất của chất khí và tăng theo áp suất và điện áp. Do sự nhân nên xung ra lớn hơn nhiều so với buồng ion hóa. Bộ đếm này được sử dụng để phát hiện và chụp phổ năng lượng tia X và phát hiện neutron.

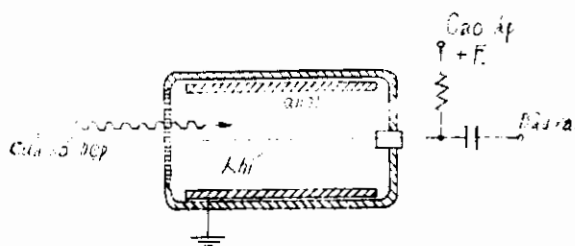
Trái với buồng ion hóa, buồng tỷ lệ hoạt động với cường độ điện trường lớn hơn. Quá trình này tạo nên thác điện tử và làm cho dòng điện tăng lên. Ở áp suất khí quyển ngưỡng cường độ điện trường và khoảng 10^6 V/m.

14.2.4. Ống đếm Geiger - Muller

Ống đếm Geiger - Muller được phát minh năm 1928 và vẫn được sử dụng vì tính đơn giản, rẻ tiền và dễ sử dụng. Ống đếm Geiger - Muller khác với buồng ion khác ở chỗ có điện áp cao hơn (hình 14.4). Khi điện trường đặt vào đủ mạnh các ion sơ cấp nhận năng lượng đủ lớn, kích thích tạo nên các ion thứ cấp do va chạm. Đến lượt mình các photon cực tím gây hiệu ứng ion hóa chất khí và phát xạ điện tử từ vật liệu kim loại làm anốt, tạo nên hiện tượng thác. Ống đếm chỉ dùng để phát hiện hạt mà không dùng để đo năng lượng hạt :

+ Để dừng dòng thác lũ có thể dùng các cách sau đây :

- Trộn vào chất khí của ống đếm một loại khí khác để hấp thụ bức xạ cực tím và dừng dòng. Có thể sử dụng các phân tử hữu cơ như rượu



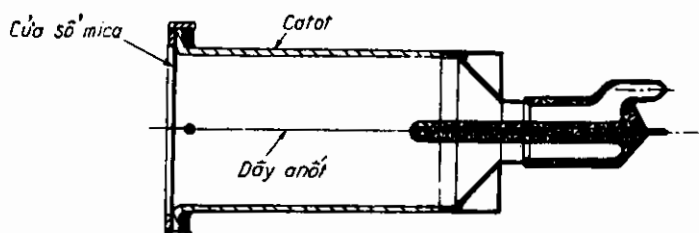
Hình 14.4. Mạch ống đếm Geiger - Muller.

ethyl để dập tắt dòng.

- Mắc điện trở R tương đối lớn từ $2 + 10 \text{ M}\Omega$ vào mạch anot. Khi xảy ra thác lũ điện áp rơi trên R_1 sẽ làm giảm điện áp anot - catot thấp hơn điện áp ngưỡng do đó sẽ dập tắt dòng.

Cấu tạo của ống đếm Geiger - Muller được cho trên hình 14.5.

Phụ thuộc vào điện áp đặt vào chế độ Geiger - Muller có thể kéo



Hình 14.5. Sơ đồ cấu tạo ống đếm Geiger - Muller.

dài hàng trăm vôn, ngưỡng dưới nằm trong khoảng $\sim 300 + 400 \text{ V}$ và giới hạn trên trong khoảng $700 + 900 \text{ V}$. Trong dải này, đối với một bức xạ hạt nhân cho trước, tỷ lệ đếm n ít phụ thuộc vào điện áp.

Một khi phóng điện đã xảy ra ở một mức nào đó xung dòng điện G-M có cùng biên độ do vậy ống đếm G-M chỉ phát hiện bức xạ, thông tin về năng lượng ion hóa bị mất.

Trong ống đếm G-M một hạt có đủ năng lượng có thể tạo nên khoảng 10^9 đến 10^{10} cặp ion. Một cặp ion hình thành trong khí của bộ đếm G-M có thể tạo nên phóng điện hoàn toàn, hiệu quả đếm của hạt mang điện có thể đạt tới 100%. Ống đếm G-M ít sử dụng cho nơtron vì hiệu quả đếm thấp. Hiệu quả của ống đếm G-M đối với tia γ cao hơn so với các ống có thành catot bằng vật liệu có Z cao. Ví dụ catot bismuth ($Z = 83$) được sử dụng rộng rãi để phát hiện γ trong chất khí có số nguyên tử cao như xenon và krypton, nó có hiệu quả đến 100% đối với photon năng lượng dưới 10 keV .

14.2.5. Đầu đo bán dẫn

Khi tia phóng xạ đến đầu do làm ion hóa nguyên tử của chất bán dẫn và tạo ra cặp điện tử - lỗ trống. Năng lượng W_1 của hạt mất đi cho việc tạo thành cặp điện tử - lỗ trống cỡ vài eV , nhỏ hơn năng lượng W_1 cần thiết để ion hóa chất khí.

Để ngăn cản sự tái hợp điện tử-lỗ trống, các điện tích này phải được giải phóng trong vùng có điện trường đủ mạnh để đảm bảo sự phân chia cặp và thu gom chóng.

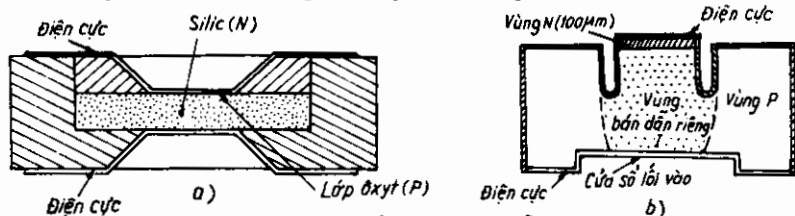
Để chế tạo đầu dò bán dẫn, tối thiểu cần tạo nên hai tiếp điểm trong vật liệu bán dẫn. Để phát hiện các tiếp điểm này được nối với nguồn. Sử dụng Ge hoặc Si không thực tế bởi vì dòng điện rò của chúng quá lớn. Khi đặt vào điện áp ngoài có thể tạo nên dòng điện có độ lớn gấp $3 \div 5$ lần dòng điện bức xạ cảm ứng do vậy đầu dò được chế tạo có chuyển tiếp bị khóa, được phân cực ngược để giảm dòng điện rò. Đầu dò diot bán dẫn có điện trở nhỏ, khi anot (P) được nối với cực dương của nguồn và catot (N) nối với cực âm. Khi phân cực ngược diot dẫn dòng rất nhỏ, nhưng nếu điện áp phân cực ngược quá lớn vượt quá giới hạn cho phép của nhà chế tạo gây ra hư hỏng thiết bị.

Người ta thường sử dụng một số đầu dò bán dẫn có chuyển tiếp khuếch tán, hàng rào bề mặt, lớp epitaxi... Các đầu dò chuyển tiếp khuếch tán, hàng rào bề mặt được sử dụng rộng rãi để phát hiện hạt α và bức xạ ngắn. Đầu dò bán dẫn có các đặc điểm: có kích thước nhỏ, chắc chắn, độ tuyến tính giữa tín hiệu ra và năng lượng tia tới, thời gian hồi đáp nhỏ.

Khi sử dụng đầu dò bán dẫn cần chú ý một số yếu tố, đó là giải chết (là giải đầu dò không nhạy với sự kiện ion hóa khác) và nguy hiểm bức xạ. Nếu hạt có điện tích nặng hoặc các hạt khác thâm nhập vào đầu dò có thể tiêu hao năng lượng trong điện cực kim loại và lớp Si mỏng sát điện cực. Sử dụng quá mức đầu dò dẫn tới tổn hại mạng tinh thể làm tăng dòng điện rò và giảm độ phân giải năng lượng.

Cấu tạo của đầu dò bán dẫn diot hàng rào bề mặt được cho trên hình 14.6a. Chuyển tiếp được hình thành bằng cách oxy hóa bề mặt Silic loại N, lớp axit loại P sau đó phủ lớp vàng mỏng làm điện cực. Diot silic hoặc gecmani pha tạp Li có cấu trúc cho trên hình 14.4b. Đầu dò được chế tạo bằng cách khuếch tán nhiệt và di chuyển Li dưới điện trường vào trong silic hoặc gecmani loại P. Li trung hòa tạp acceptor tạo thành diot gồm ba vùng. Đây là diot loại PIN.

Ứng dụng diot silic pha tạp Li để phát hiện hạt α và β ở 300 K, loại silic pha tạp Li hoặc Ge pha tạp Li để phát hiện tia X và tia γ ở 77 K.



Hình 14.8. Đầu dò bán dẫn.

a) Diot hàng rào bề mặt; b) Diot silic pha tạp Li.

Chương 15

CẢM BIẾN ĐIỆN TỪ

Có thể coi la bàn do người Trung Quốc chế tạo vào năm 2634 trước Công nguyên là bộ cảm biến từ đầu tiên. Năm 1070 người Trung Quốc đã biết sử dụng la bàn trong hàng hải. Ở châu Âu la bàn được Marco Polo đưa vào từ năm 1269. Ngày nay các bộ cảm biến từ được hoàn thiện để đáp ứng với yêu cầu của nhiều lĩnh vực khoa học và kỹ thuật.

Nhiều kỹ thuật khác nhau được sử dụng để đo các đại lượng từ. Sau đây tóm tắt những loại cảm biến từ thông dụng :

- Đơn giản nhất là cảm biến sử dụng định luật Faraday, trong đó sức điện động (sđđ) cảm ứng tỷ lệ với biến thiên của từ thông cần đo.
- Hiệu ứng Hall phát hiện năm 1879 là nguyên lý của cảm biến Hall.

Cảm biến Hall là một mảnh bán dẫn mỏng có kết cấu đặc biệt. Khi có dòng điện I chạy dọc theo tấm bán dẫn đồng thời có từ cảm B tác động vuông góc với tấm này thì trên hai cực ngang của nó xuất hiện sức điện động :

$$E_H = k_H \cdot I \cdot B \cdot \sin \Psi$$

I là dòng điện chạy dọc theo cảm biến ;

B từ cảm xuyên qua cảm biến ;

Ψ là góc lệch giữa I và B ;

k_H hệ số Hall.

Cảm biến Hall được sử dụng rộng rãi trong nhiều thiết bị đo lường từ, trong cảm biến tiếp cận, dải đo từ $1 + 10^6$ gauss.

- Cảm biến kích từ dọc (fluxgate sensor) gồm một số cuộn dây quấn quanh hai thanh sắt từ hoặc một lõi xuyên. Một cuộn được cung cấp bằng

trường xoay chiều từ hóa thành sắt từ theo các chiều ngược nhau. Cuộn cảm biến quấn quanh cả hai thanh và lấy tín hiệu ra. Khi không có từ trường ngoài tín hiệu ra bằng không. Khi có từ trường ngoài thành phần trường dọc theo thanh thay đổi vì vật liệu từ bị từ hóa ở mỗi nửa chu kỳ của nguồn kích thích. Kết quả là điện áp ra tỷ lệ với cường độ từ trường cần đo và biến thiên với tần số gấp đôi tần số kích thích. Cảm biến chỉ đo một thành phần vectơ từ cảm. Bằng cách phối hợp hai hoặc ba phần tử có thể đo được cả ba thành phần của vectơ từ cảm. Dải đo của cảm biến fluxgate từ 10^{-6} đến 10^2 gauss.

- Cảm biến từ trở MR (magnetoresistive) sử dụng hiệu ứng trong đó điện trở của lớp dẫn phụ thuộc vào độ lớn và phương của từ trường đặt vào. Sự quay của vectơ từ hóa gây ra sự thay đổi điện trở. Vật liệu thường sử dụng làm cảm biến điện tử là permalloy, hợp kim của thép và Niken. Các cảm biến MR thường sử dụng công nghệ lớp mỏng dày cỡ 50 nm permalloy trên một đế cách điện, cho phép sử dụng công nghệ 1 mạch tích hợp với điện trở thay đổi vài phần trăm.

- Hiệu ứng GMR (Giant Magnetoresistance Ratio) do các nhà khoa học Pháp phát hiện năm 1989. Ở một nhiệt độ nào đó và từ trường mạnh, điện trở vật liệu có thể thay đổi tới 50%. Nhiều nghiên cứu GMR đang tiến hành nhưng cơ chế hoạt động của GMR còn chưa được hiểu biết đầy đủ.

- Phương pháp cộng hưởng từ hạt nhân RMN (Resonance Magnetic Nucleus)

Là phương pháp đo dựa trên chuyển đổi lượng tử cộng hưởng từ hạt nhân. Hiện tượng cộng hưởng từ hạt nhân xảy ra khi có sự cân bằng giữa tần số quay của mômen từ của hạt nhân và tần số quay của từ trường xoay chiều. Tần số cộng hưởng từ hạt nhân $\omega = \gamma B$ tỷ lệ với từ cảm cần đo.

γ là hệ số từ thủy phụ thuộc vào vật liệu.

- Phương pháp lượng tử siêu dẫn SQUID (Superconducting Quantum Interference Device) dựa trên hiện tượng lượng tử từ thông qua một vòng siêu dẫn và hiệu ứng Josephson sẽ được đề cập kỹ ở các phần sau.

Bảng 15.1 tóm tắt các kỹ thuật cảm biến từ và phạm vi sử dụng của chúng.

Phạm vi sử dụng các kỹ thuật cảm biến từ

TT	Công nghệ cảm biến từ	Tù cảm phát hiện (Gauss)				
		10^{-10}	10^{-6}	10^{-2}	10^2	10^4
1	Cuộn dây Faraday					
2	Cuộn dây kích từ dọc					
3	Bơm quang					
4	RMN (cộng hưởng từ hạt nhân)					
5	SQUID (lượng tử siêu dẫn)					
6	Hiệu ứng Hall					
7	MR (điện trở từ)					
8	Điot từ					
9	Tranzito từ					
10	Sợi quang					
11	Quang tử					

15.1. SQUID

SQUID là viết tắt từ tiếng Anh Superconducting Quantum Interference Device, là bộ phát hiện từ thông siêu dẫn cực nhạy được ứng dụng trong rất nhiều lĩnh vực chủ yếu để đo dòng và áp rất nhỏ, đo đặc tính từ, đo nhiệt, đặc tính từ sinh học, đo không phá hủy mẫu.

Nguyên lý làm việc của SQUID dựa trên hiện tượng lượng tử từ thông qua một vòng siêu dẫn và hiệu ứng Josephson.

Thiết bị cơ đầu đo (SQUID) làm việc ở nhiệt độ thấp, đa số ở 4,2 K (nhiệt độ Heli lỏng). Do sự phát hiện tính siêu dẫn ở nhiệt độ cao vào năm 1986 đầu đo SQUID có thể làm việc ở 90 K (nhiệt độ nitơ lỏng).

15.1.1. Lượng tử hóa từ thông qua một vòng siêu dẫn

Trong một vật siêu dẫn ở nhiệt độ T nhỏ hơn nhiệt độ tới hạn T_c một bộ phận điện tử tự do liên kết thành đôi gọi là đôi Cooper tuân theo thống kê Bose - Einstein và có xu hướng chiếm cùng một trạng thái lượng tử. Trạng thái lượng tử này được mô tả bằng một hàm số sóng vĩ mô.

Ta xét một vòng vật liệu siêu dẫn ở nhiệt độ nhỏ hơn T_c . Ở một điểm cho trước của vòng, hàm số sóng biểu diễn trạng thái siêu dẫn là đơn trị, pha của nó là modulo 2π .

Người ta đã chứng minh rằng khi đi theo vòng này (vòng tích phân C hình 15.1) tỷ lệ với từ thông qua nó, do đó được lượng tử hóa theo quy luật :

$$\int_S \vec{B} d\vec{S} = n \cdot \frac{h}{2e} \quad (15.1)$$

$\vec{B}$ là vectơ cảm ứng từ, n là số nguyên

h là hằng số Planck

e là điện tích của điện tử,

S là diện tích mặt giới

hạn bởi vòng C .

Ta thường đặt : $\Phi_0 = \frac{h}{2e}$ là

lượng tử từ thông, $\Phi_0 = 2,07 \cdot 10^{-15}$

Wb

Phương trình (15.1) được viết

là :

Hình 15.1. Vùng vật liệu siêu dẫn.

$$\Phi = n\Phi_0 \text{ hoặc } \frac{2\pi\Phi}{\Phi_0} = 2n\pi \quad (15.2)$$

Điều kiện lượng tử hóa từ thông (15.1) ứng với tình hình trong khối siêu dẫn. Đặc biệt nếu từ thông cắt qua vòng khi nó ở trạng thái bình thường, không phải là bội của Φ_0 dòng điện xác lập bề mặt sẽ xác định dọc theo thành phía trong, khi nó trở nên siêu dẫn thỏa mãn phương trình (15.1). Cũng vậy khi vòng siêu dẫn đặt dưới biến thiên của từ trường ngoài sẽ có dòng điện bề mặt để duy trì từ thông không đổi.

15.1.2. Hiệu ứng Josephson

Chuyển tiếp Josephson gồm một hàng rào cách điện nhỏ phân cách hai chất siêu dẫn. Khi mà dòng điện I đặt vào còn chưa vượt quá dòng điện tới hạn ký hiệu là I_c , các đôi Cooper có thể vượt qua, theo hiệu ứng đường hầm, lớp chắn cách điện không tạo nên điện áp trên các cực của nó. Ở các cực của chuyển tiếp hàm sóng chịu sự lệch pha θ cho bởi

$$I = I_c \sin \theta \quad (15.3)$$

Việc ngắt một vòng siêu dẫn bằng một hoặc hai chuyển tiếp cho phép phát hiện bằng mắt hiệu ứng SQUID tần số radio hoặc SQUID một chiều trong các điều kiện chính xác của phân cực và đặt từ trường ngoài.

Phương trình (15.3) chỉ là một thể hiện của chuyển tiếp Josephson. Nếu dòng điện đặt vào chuyển tiếp lớn hơn I_c xuất hiện điện áp trên các cực của nó :

$$V = \frac{h}{4\pi e} \cdot \frac{d\theta}{dt} \quad (15.4)$$

Nếu thay cho việc đặt dòng điện một chiều vào chuyển tiếp, ta đặt điện áp một chiều V_0 sự phụ thuộc của pha Φ theo thời gian có thể được viết bằng :

$$\theta = \frac{4\pi e}{h} V_0 t + \theta_0 \quad (15.5)$$

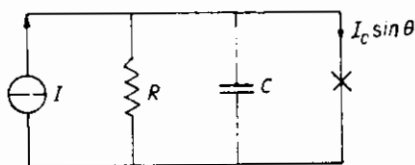
trong đó θ là một hằng số.

Dòng điện qua chuyển tiếp theo (15.3) là :

$$I(t) = I_c \sin \left(\frac{4\pi e}{h} V_0 t + \theta_0 \right) \quad (15.6)$$

tần số dao động $f_0 = \frac{2e}{h} V_0$, với $f_0 = 483 \text{ MHz}$ thì $V_0 = 1 \mu\text{V}$.

Một chuyển tiếp Josephson thực có thể được biến đổi dưới dạng phối hợp ba phần tử song song như hình 15.2. Nhánh $I_c \sin \theta$ biểu diễn dòng điện cặp Cooper theo phương trình (15.3), hai nhánh kia biểu diễn dòng điện của các hạt (điện tử tự do) và dòng điện điện dung của chuyển tiếp. Khi đặt vào dòng một chiều bên ngoài I điện áp V trên các cực của chuyển tiếp đáp ứng phương trình :



Hình 15.2. Sơ đồ RSJ Resistively Shunted Junction của một chuyển tiếp Josephson.

$$I = I_c \sin \theta + \frac{V}{R} + C \frac{dV}{dt} \quad (15.7)$$

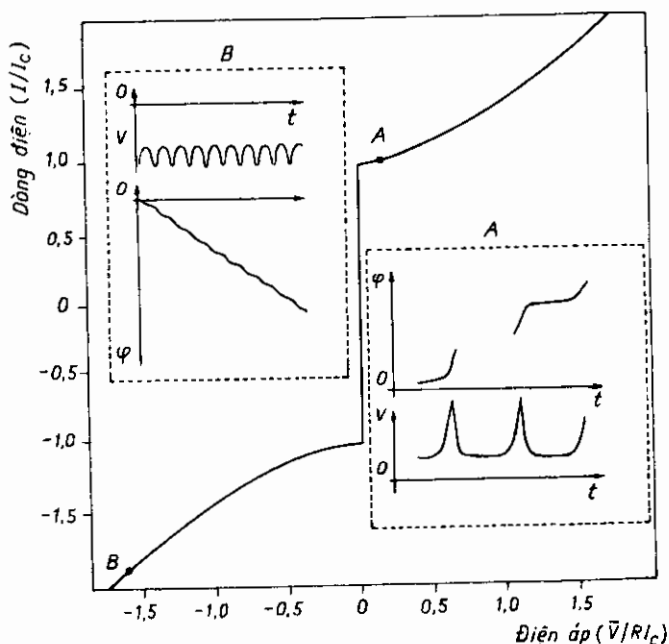
Có thể giải (15.7) bằng phương pháp số và nhận được giá trị điện áp trung bình, ký hiệu $\bar{V}$ theo I . Có thể quan sát thấy hai loại đáp ứng theo giá trị thông số β , gọi là hệ số Cumber

$$\beta = \frac{2\pi I_c R^2 C}{\Phi_0} \quad (15.8)$$

Với $\beta_c > 1$ đường $\bar{V} = f(I)$ có dạng trề còn $\beta_c \leq 1$ là đơn trị. Nguyên nhân trề hay không trề phụ thuộc vào công nghệ chế tạo.

Tuy vậy dễ dàng chuyển từ chế độ này sang chế độ khác chỉ bằng thay đổi nhiệt độ vì I_c phụ thuộc vào nhiệt độ.

Hình 15.3 minh họa sự phụ thuộc của $\bar{V}$ theo I của một chuyển tiếp không trề. Với $|I| \leq I_c$ chỉ có dòng điện của cặp Cooper bằng không, $\bar{V} = 0$. Khi $|I| \leq 2I_c$ phần đóng góp chủ yếu đối với $\bar{V}$ là dòng hạt và phụ thuộc tuyến tính vào I .



Hình 15.3. Đặc tính $\bar{V} = f(I)$ của chuyển tiếp Josephson không trề. Đưa vào điểm A và B cho thấy diễn biến của điện áp và pha ở điểm A, B của đường $\bar{V} = f(I)$ với nguồn cung cấp một chiều.

15.1.3. Nguyên lý làm việc của SQUID

Đầu tiên ta xét SQUID làm việc ở tần số radio ký hiệu là SQUIDrf.

Ta xét vòng siêu dẫn bị ngắt bởi một chuyển tiếp Josephson có chiều dày không đáng kể so với chu vi. Điều kiện bất biến modulo 2π của pha hàm số sóng được duy trì nhưng được thể hiện một cách khác nhau đối với từ thông vì theo phương trình Josephson có :

$$\frac{2\pi\Phi}{\Phi_0} = 2\pi n - \theta \quad (15.9)$$

ở đây θ là hiệu số pha ở hai mép chuyển tiếp.

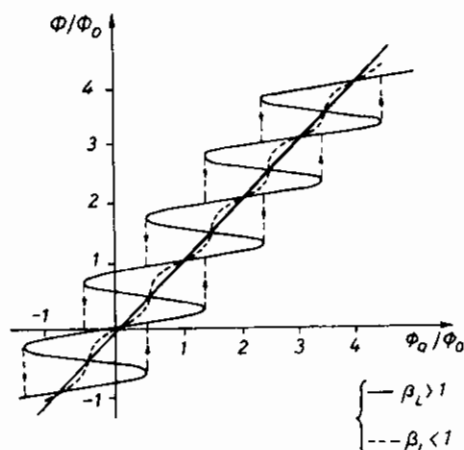
Bằng cách lấy sin của hai vế biểu thức (15.9) khi đặt $\Phi = \Phi_a + LI$ với I là dòng điện chạy quanh vòng siêu dẫn và L là điện cảm của vòng ta được quan hệ giữa từ thông tổng Φ qua vòng và từ thông Φ_0 đặt từ bên ngoài ta có :

$$\Phi + LI_c \sin \left(\frac{2\pi\Phi}{\Phi_0} \right) = \Phi_a \quad (15.10)$$

Trên hình 15.4 biểu thức 15.10 xuất hiện hai tình huống khác nhau tùy theo thông số

$$\beta_L = \frac{2\pi LI_c}{\Phi_0}, \text{ với } \beta_L \ll 1,$$

đường cong $\Phi = f(\Phi_a)$ là đơn trị, trong khi đó khi $\beta_L > 1$ nó là đa trị. Ta nhận thấy rằng vật siêu dẫn tác động để duy trì từ thông Φ ở một giá trị bội của Φ_0 tác động ngược chiều khi có chuyển tiếp Josephson. Hơn nữa khi $\beta \geq 1$ hệ thống đa trị và tiêu tốn năng lượng.

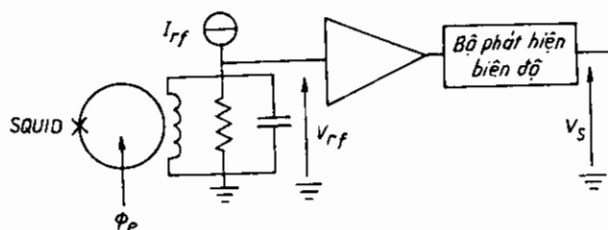


Hình 15.4. Đặc tính $\Phi = f(\Phi_a)$ theo β_L .

Sơ đồ SQUID tần số radio cho trên hình 15.5 mạch siêu dẫn có liên hệ về từ với mạch cộng hưởng song song được cung cấp bằng nguồn dòng tần số radio I_{rf} thành tần số f_p (tần số bơm). Từ thông tổng tức thời của SQUID là

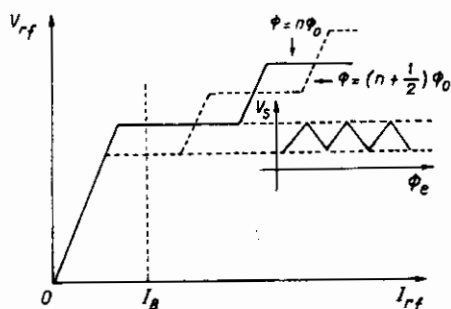
$$\Phi_a = \Phi_e + \Phi_p$$

Φ_e là từ thông ngoài và Φ_p tần số radio.



Hình 15.5. Sơ đồ nguyên lý từ kế SQUID.

Khi trở về trên hình 15.4 số chu kỳ trễ trung bình được mô tả bằng Φ theo giá trị Φ_c và biên độ từ thông ϕ_p . Các tổn hao gây ra do chu kỳ trễ tạo nên sự phụ thuộc Φ_c của điện áp xoay chiều trung bình trên mạch cộng hưởng song song. Hình 15.6 là đồ thị điện áp trung bình Φ_c khi biên độ từ thông tần số radio không đổi, hệ thống là chu kỳ với chu kỳ Φ_0 .



Hình 15.6. Biến thiên trạng thái từ tính $\Phi_c = n\Phi_0$ và $\Phi_c = (n + 1/2)\Phi_0$.

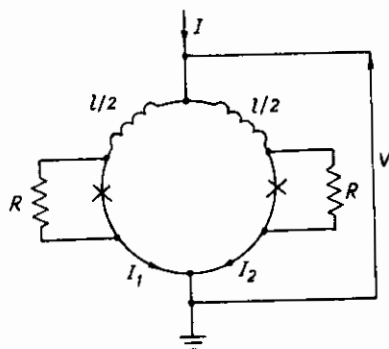
15.2. SQUID MỘT CHIỀU SQUID DC

Sơ đồ của SQUID một chiều được biểu diễn trên hình 15.7.

Sơ đồ gồm một vòng siêu dẫn bị ngắt bởi hai chuyển tiếp Josephson giả thiết tương tự và không trễ và bố trí đối xứng với điểm cung cấp dòng điện.

Đầu tiên giả thiết hệ thống chịu ảnh hưởng từ thông Φ_a bằng nhiều lượng tử từ thông. Dòng điện I phân bố một cách cân bằng giữa hai nhánh.

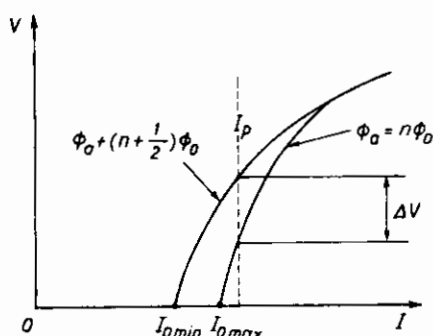
Điện áp trung bình xuất hiện trên các cực của SQUID khi $|I| \geq 2I_c$, ở đây I_c là dòng điện tới hạn của các chuyển tiếp. Nếu ϕ_a trở nên khác $n\Phi_0$ có dòng điện một chiều J chạy xung quanh vòng để hạn chế sự tăng từ thông của vật siêu dẫn. J làm tăng cường dòng điện qua một trong các chuyển tiếp Josephson và làm giảm dòng thứ hai. Dòng điện nguồn I để làm xuất hiện điện áp trên các cực bằng :



Hình 15.7. Sơ đồ SQUID một chiều.

$$I = 2(I_c - J) \text{ hoặc } J = (I_1 - I_2)/2 \quad (15.11)$$

Đặc tính dòng - áp của SQUID một chiều sẽ giống như đặc tính của một chuyển tiếp Josephson duy nhất. Đặc tính $V = f(I, \Phi_a)$ là chu kỳ. Đặc tính này phát triển giữa hai đường cực trị, một đường nhận được bằng cách đặt $\Phi_a = n\Phi_0$ với dòng tới hạn bằng $2I_c$, còn đường kia nhận được khi $\Phi_a = (n + 1/2)\Phi_0$ và $2I_c - \Delta I_c$. Khi dòng cung cấp $I = 2I_c$ điện áp trung bình trên các cực là hàm chu kỳ của từ thông đặt vào (hình 15.8).



Để hiểu rõ các đặc tính của SQUID một chiều ta hãy viết các phương trình Josephson đối với một vòng siêu dẫn gồm hai chuyển tiếp (hình 15.7) :

Hình 15.8. Đặc tính dòng áp cực trị của SQUID một chiều khi từ thông đặt vào là $n\Phi_0$ và $(n + \frac{1}{2})\Phi_0$

$$I_{0max} = 2I_c \text{ khi } \Phi_a = n\Phi_0$$

$$I_{0min} = 2I_c - \Delta I_c \text{ khi } \Phi_a = (n + \frac{1}{2})\Phi_0$$

$$I_1 = \frac{I}{2} - J = I_c \sin \theta_1 + \frac{h}{4\pi e R} \frac{d\theta_1}{dt} \quad (15.12)$$

$$I_2 = \frac{I}{2} + J = I_c \sin \theta_2 + \frac{h}{4\pi e R} \frac{d\theta_2}{dt} \quad (15.13)$$

Áp dụng định luật Ohm cho mỗi nhánh ta được

$$V = \frac{h}{8\pi e} \left(\frac{d\theta_1}{dt} + \frac{d\theta_2}{dt} \right) \quad (15.14)$$

Mở rộng các phương trình (15.2) và (15.9), điều kiện duy nhất, modulo 2π , pha của hàm sóng, ta viết cho từ thông tổng Φ_T gồm giữa $n\Phi_0$ và $(n+1)\Phi_0$ là :

$$2n\pi + \theta_1 - \theta_2 = 2\pi \frac{\Phi_T}{\Phi_0} \quad (15.15)$$

$$\text{trong đó} \quad \Phi_T = LJ + \Phi_a + n\Phi_0 \quad (15.17)$$

$$\text{tức là} \quad J = \frac{\Phi_0}{2\pi L} \left(\theta_1 - \theta_2 - \frac{2\pi \Phi_a}{\Phi_0} \right)$$

Hệ phương trình này được giải bằng phương pháp số hoặc bằng mô

phòng điện tử. Ở đây chỉ đưa ra các kết quả chủ yếu. Biến thiên của dòng điện tới hạn ΔI_c có thể được tính toán gần đúng :

$$\Delta I_c = \frac{2I_c}{1 + \beta} \quad (15.18)$$

trong đó
$$\beta = \frac{2LI_c}{\Phi_0}$$

Dòng điện tới hạn I_0 phụ thuộc một cách chu kỳ vào từ thông đặt vào và qua các cực trị khi $\Phi_a = n\Phi_0$ và $(n + \frac{1}{2})\Phi_0$. Truyền đạt từ thông điện áp là tối ưu đối với $\Phi_a = (n + \frac{1}{4})\Phi_0$. Ta viết :

$$\frac{\partial V}{\partial \Phi_a} = \frac{\partial V}{\partial I_0} \frac{\partial I_0}{\partial \Phi_a} \quad (15.19)$$

đặt $r_D = \frac{\partial V}{\partial I_0}$ là điện trở động của SQUID và giả thiết biến thiên I_0 là tuyến tính giữa $n\Phi_0$ và $(n + 1/2)\Phi_0$, ta được :

$$\frac{\partial I_0}{\partial \Phi_a} = \frac{2\Delta I_c}{\Phi_0} \quad (15.20)$$

Cuối cùng đối với một điểm làm việc gần $\Phi_a = (n \pm \frac{1}{4})\Phi_0$

$$V_\Phi = \left| \frac{\partial V}{\partial \Phi_a} \right| = \frac{2\beta}{(\beta + 1)} \frac{r_D}{L} \quad (15.21)$$

trong đó r_D bằng khoảng $\frac{R}{\sqrt{2}}$.

SQUID được quan tâm chủ yếu vì nó có độ nhạy rất cao. Bằng cách mô phỏng số C.Tesche và J.Clark đã chứng minh rằng với một SQUID cách ly nhiều nhất của các điện trở thể hiện bằng sự thăng giáng của điện áp ra, được đặc trưng bằng mật độ phổ không phụ thuộc vào tần số mà phụ thuộc vào các thông số β , R và điểm làm việc của thiết bị. Hơn nữa vì thiết bị là phi tuyến các đặc tính tĩnh bị thay đổi khi có nhiễu nền.

Nhiều đầu ra có thể được biểu diễn bằng sự thăng giáng của từ thông :

$$\varphi_c^2 = \frac{V_s^2}{V_\Phi^2} (Wb^2/Hz) \quad (15.22)$$

Sự thăng giáng này sẽ triển khai trên tự cảm L , tương đương với mật độ năng lượng từ của nhiễu là :

$$\varepsilon = \frac{\varphi_c^2}{2L} \text{ (J/Hz)} \quad (15.23)$$

Theo kết quả mô phỏng Tesche và Clarke cho thấy điểm làm việc tối ưu của SQUID ε sẽ cực tiểu khi $\beta = 1$. Trong các điều kiện này các đặc tính chủ yếu là :

$$\varepsilon \approx 9 k_B T \frac{L}{R} \text{ (J/Hz)} \quad (15.24)$$

k_B là hằng số Boltzman, T là nhiệt độ tuyệt đối và

$$V_S^2 = 16 K_B T R \quad (15.25)$$

Trong trường hợp này hàm truyền từ thông-điện áp là :

$$V_\Phi = \frac{R}{\sqrt{2}L} \quad (15.26)$$

Biểu thức (15.24) cho thấy ở nhiệt độ cho trước có khả năng giảm điện cảm của vòng và tăng R khi thỏa mãn điều kiện $\beta_c \leq 1$. Hơn nữa ở L và R đã cho SQUID ở nhiệt độ T_c là 77K sẽ nhiễu hơn làm việc ở 4,2K. Theo (15.21) có thể viết biểu thức với $\beta = 1$

$$V_\Phi = \sqrt{2} \frac{R I_c}{\Phi_0} \quad (15.27)$$

Hàm truyền của SQUID thường được quy định bằng tích $R I_c$ tỷ lệ với giá trị của khe hở vật siêu dẫn sử dụng.

Ta đưa ra một số dữ liệu của SQUID cách ly trên cơ sở Nb làm việc ở 4,2K $I_c = 13,2 \mu A$, $R = 4,5 \Omega$, $L = 210 pH$ tức là $\beta = 2,8$. Các giá trị đo ở điểm làm việc $r_D = 15 \Omega$, $V_\Phi = 7,5 \cdot 10^{10} V/Wb$ tức là $150 \mu V/\Phi_0$, $V_s = 0,6 nV/\sqrt{Hz}$, $\varphi_c = 8 \cdot 10^{-21} Wb/\sqrt{Hz}$, $\varepsilon = 1,5 \cdot 10^{-31} J/Hz$.

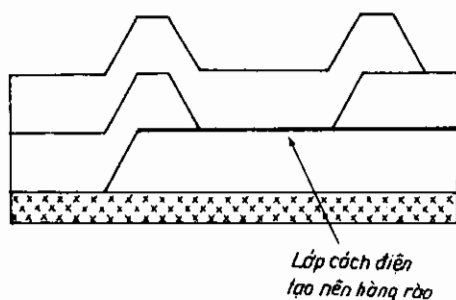
Khi làm việc SQUID cần được bọc kim và ghép với bộ tiền khuếch đại tránh ảnh hưởng của nhiễu điện từ.

15.3. CÔNG NGHỆ CHẾ TẠO CÁC CHUYỂN ĐỔI JOSEPHSON VÀ SQUID

Ngày nay công nghệ các chuyển đổi Josephson ở nhiệt độ thấp đã được hoàn thiện. Đó là các chuyển mạch ứng với dây Nb - Al - Al_2O_3 - Nb và kiểu siêu dẫn-cách điện-siêu dẫn (hình 15.9). Các chuyển tiếp được

nổi song song với một điện trở để thu được đặc tính không trễ. Các đặc tính của chúng ổn định theo chu kỳ nhiệt và thỏa mãn với lý thuyết, không thể hiện nhiễu quá lớn ở tần số $f \leq 10 \text{ Hz}$. Nhiễu quá lớn phụ thuộc vào chất lượng các giao diện và thay đổi từ công nghệ này sang công nghệ khác, vì thế độ phân giải năng lượng ε của một SQUID được quy định ở tần số cao và ở 1 Hz , các quá trình điều biến đặc biệt cho phép giảm mức nhiễu đáng kể.

Công nghệ chuyển mạch ở nhiệt độ tới hạn cao ít được hoàn thiện hơn vì hiện nay việc phát hiện các oxyt siêu dẫn hóa trị hỗn hợp còn chậm, nhưng cũng vì bước sóng nhỏ của các cặp Cooper trong vật liệu, không cho phép khai thác kỹ thuật sử dụng dễ dàng đối với siêu dẫn kim loại. Các màng mỏng cơ sở YBaCuO, BiSr-CaCuO, TiBaCaCuO phải được epitaxi trên các đế với các



Đế

Hình 15.9. Mặt cắt của chuyển tiếp siêu dẫn.

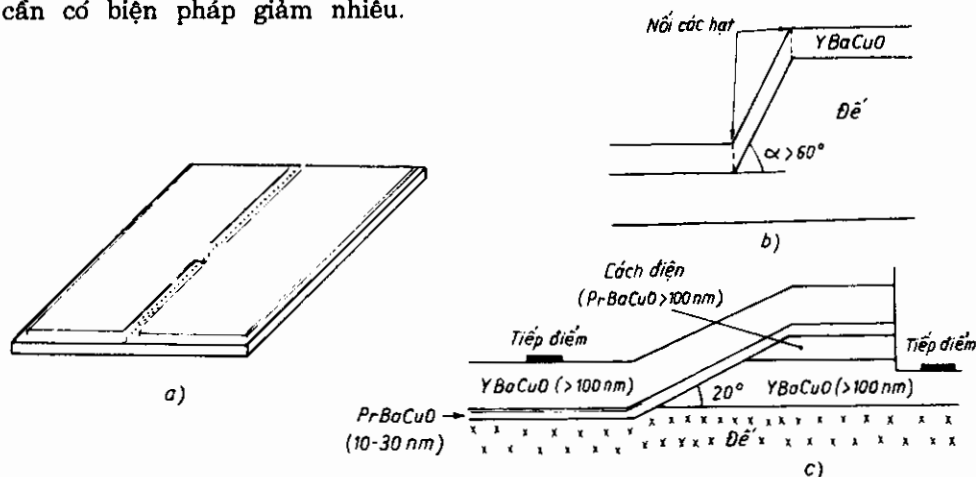
thông số lưới thích hợp MgO , SrTiO_3 , ZrO_2 bởi vì các mối nối của các hạt, trong một số điều kiện cũng thể hiện chuyển tiếp kiểu Josephson. Vì thế công nghệ chế tạo các chuyển tiếp đầu tiên dựa trên việc làm chủ định vị một lớp và góc nối của các hạt. Có ba kỹ thuật sử dụng là :

- Hàn hai lớp có trục tinh thể trong mặt phẳng cách góc 24° , 36° . Lớp siêu dẫn phát triển một nối hạt dọc theo chỗ hàn. Các chuyển tiếp Josephson cũng có thể được thực hiện theo cách này (hình 15.10a).

- Kỹ thuật thứ hai là thực hiện một bậc trên đế, tiếp theo đặt lớp mỏng trên đó. Nếu thỏa mãn một số điều kiện hình học, các mối nối của hạt sẽ được định vị trên bậc. Phương pháp này ít tốn kém hơn phương pháp đầu và cho phép thực hiện toàn bộ các chuyển tiếp định hướng bất kỳ, tuy vậy ngày nay công nghệ này có tính năng kém hơn công nghệ thực hiện trên đế hai tinh thể (hình 15.10b).

- Kỹ thuật thứ ba là kỹ thuật nhiều lớp. Người ta thực hiện một chuyển tiếp theo hàng trên mặt phẳng cơ sở bằng cách thay đổi một lớp mịn của vật liệu bình thường hoặc cách điện, YBaCuO không siêu dẫn, PrBa CuO... Với các đặc tính của lưới tương hợp với lưới siêu dẫn này (hình 15.10c).

Dù thực hiện công nghệ nào các chuyển tiếp ở T_c cao, các SQUID một chiều ngày nay vẫn có mức nhiễu đáng kể, trong nhiều ứng dụng cần có biện pháp giảm nhiễu.



Hình 15.10. Các chuyển tiếp a) Trên hai tinh thể ;
b) Trên bạc ; c) Trên răng.

15.4. THỰC HIỆN MỘT SQUID MỘT CHIỀU

Như đã đề cập ở trên, SQUID có đặc tính phân giải năng lượng rất tốt, do vậy đương nhiên là một cảm biến từ thông, tính năng của nó giảm ở tần số thấp do các khiếm khuyết về công nghệ khi chế tạo các chuyển tiếp Josephson. Để thực hiện đo các đại lượng từ cần xem xét kỹ ba khía cạnh sau đây :

- Phối ghép SQUID với bên ngoài
- Giảm ảnh hưởng của nhiễu tần số thấp
- Phối ghép SQUID với hệ khuếch tán bán dẫn.

15.4.1. Phối ghép SQUID với bên ngoài

Biểu thức (15.24) về độ phân giải năng lượng của SQUID một chiều cho thấy việc giảm điện cảm L của vòng siêu dẫn rất nhiều, tuy nhiên với điện cảm $L = 200 \text{ pH}$ tương ứng với một diện tích vòng cỡ 10^{-9} m^2 và từ cảm $1 \text{ pT}/\sqrt{\text{Hz}}$, tính năng như vậy là hơi thấp. Từ kế SQUID có một cơ cấu gọi là máy biến áp từ thông (hình 15.11). Máy biến áp tập hợp siêu dẫn (dây hoặc lớp phủ màng mỏng. Ta gọi L_p , L_s , L_l là điện cảm của cuộn sơ cấp, thứ cấp và dây liên hệ.

Biến thiên $\Delta\Phi_p$ đối với cuộn sơ cấp tương ứng với biến thiên Δi của dòng điện trong mạch theo quan hệ :

$$\Delta i = \frac{N_p \Delta \Phi_p}{L_p + L_s + L_f} \quad (15.28)$$

trong đó N_p là số vòng cuộn sơ cấp.

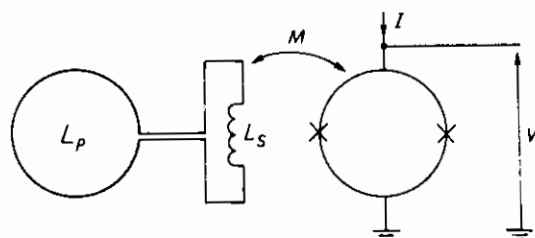
Biến thiên từ thông gây trong SQUID là :

$$\Delta \Phi_a = M \frac{N_p \Delta \Phi_p}{L_p + L_s + L_f} \quad (15.29)$$

M là hệ cảm ghép giữa cuộn sơ cấp của máy biến áp từ thông và SQUID.

Hệ số $\frac{MN_p}{L_p + L_s + L_f}$ là hệ số độ nhạy từ thông.

Ta cũng có thể dẫn ra mật độ phổ tương đương với nhiều. Đặt $M = k \sqrt{L_s L_p}$, trong đó k là hệ số ghép giữa SQUID và thứ cấp của máy biến áp từ thông :



Hình 15.11. Sơ đồ SQUID một chiều ghép với máy biến áp.

$$\varphi_p^2 = \varphi_c^2 \frac{(L_p + L_s + L_f)^2}{k^2 L_s L N_p^2} \quad (15.30)$$

Cực tiểu hóa φ_p^2 với điều kiện $L_p = L_s$, khi bỏ qua điện cảm ký sinh L_f , biểu thức (15.30) trở thành :

$$\varphi_p^2 = \frac{4 L_p \varphi_0^2}{k^2 L N_p^2} \quad (15.31)$$

Độ nhạy từ cảm với sơ cấp có dạng :

$$b_p = \frac{2 \sqrt{2 L_p \epsilon}}{k N_p S_p} \quad (15.32)$$

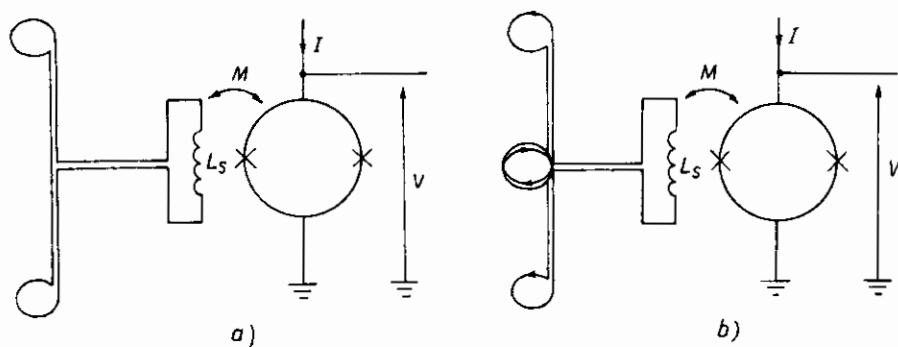
ở đây S_p là diện tích vòng dây sơ cấp.

Đối với cuộn sơ cấp chỉ có một vòng, giá trị gần đúng của $L_p = 5 \mu_0 r_p$, ở đây r_p là bán kính cuộn dây, $\mu_0 = 4\pi \cdot 10^{-7} \text{ H/m}$, độ nhạy của SQUID cuối cùng có dạng :

$$b_p = 2,25 \cdot 10^{-3} \frac{\sqrt{\epsilon}}{k r_p^{3/2}} \quad (15.33)$$

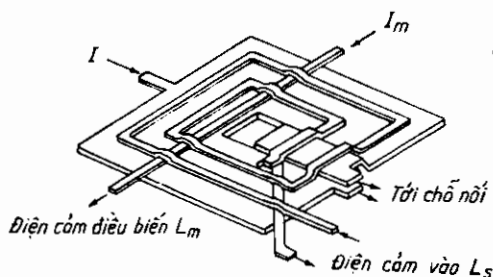
15.4.2. Các kiểu máy biến áp từ thông

Phần tử sơ cấp của máy biến áp từ thông có thể chỉ có một vòng dây hoặc là tập hợp các cuộn dây ít liên hệ, mắc nối tiếp để thực hiện việc phối hợp giá trị từ thông qua các vòng khác nhau. Hình 15.12



Hình 15.12. Từ kế SQUID một chiều phối ghép máy biến áp.
a) Loại một; b) Loại hai.

là sơ đồ gradiometer (gradient kế) loại 1 và loại 2 tùy theo trục vuông góc với mặt phẳng của các cuộn dây. Cấu trúc này giảm đáng kể ảnh hưởng của nhiễu nhưng cần sử dụng dây siêu dẫn. Để sử dụng cần chất siêu dẫn ở nhiệt độ thấp. Hình 15.13 là sơ đồ gradient kế phẳng được thực hiện bằng siêu dẫn nhiệt độ thấp hoặc cao. Đó là hệ nhiều màng mỏng tích hợp và máy biến áp từ thông, sử dụng tính chất thuận từ siêu dẫn để ghép nối giữa hai cuộn dây phẳng khác nhau.

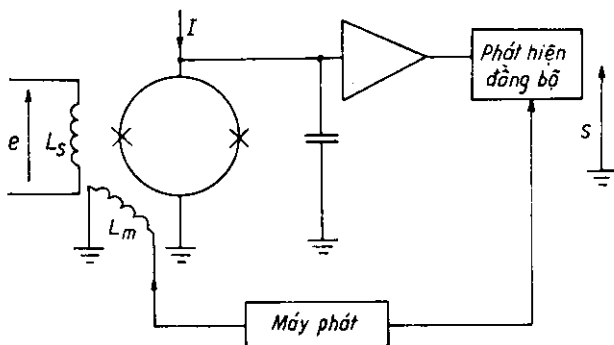


Hình 15.13. SQUID một chiều sử dụng công nghệ nhiều lớp.

15.5. GIẢM NHIỀU Ở TẦN SỐ THẤP

Có nhiều nguồn nhiễu thể hiện ở tần số thấp trong hệ thống SQUID đến một tần số f_M , phụ thuộc vào công nghệ của các chuyển tiếp ($1 \text{ kHz} \leq f_M \leq 10 \text{ kHz}$).

Để giảm hoặc khử hiện tượng này sử dụng phương pháp quen thuộc đối với hệ tuyến tính là sử dụng một điều biến phụ tần số f_0 di chuyển phổ tín hiệu cần đo ở các tần số chịu nhiễu quá lớn về tần số có nhiễu không đáng kể, rồi sau khi khuếch đại đưa phổ về vị trí ban đầu bằng giải điều đồng bộ. Áp dụng phương pháp này đối với trường hợp SQUID được minh họa trên hình 15.14 trong đó Φ_m là từ thông chu kỳ phụ có biên độ nhỏ so với Φ_0 . Biện pháp này chỉ là một phần của vấn đề đặt ra bởi vì nguồn gốc của nhiễu và đặc tính phi tuyến của thiết bị.

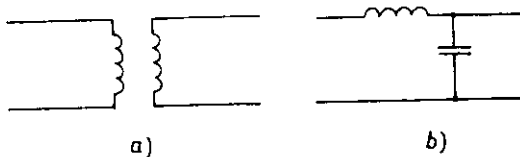


Hình 15.14. Ứng dụng một từ thông phụ chu kỳ tần số f_0 vào L_m . Biên độ Φ_m rất nhỏ so với Φ_0 cho phép giảm nhiễu.

15.6. PHỐI GHP SQUID VỚI HỆ THỐNG KHUẾCH ĐẠI

Ngày nay SQUID một chiều thương phẩm làm việc ở nhiệt độ heli lỏng có mật độ phổ của nhiễu điện áp ra của thiết bị nhỏ hơn $1 \text{ nV}/\sqrt{\text{Hz}}$ và tổng trở ra r_D khoảng phần chục Ohm. Do vậy cần có phần tử hòa hợp tổng trở vào của bộ tiền khuếch đại để tính năng của hệ thống không bị suy giảm bởi phần tử này.

Có hai sơ đồ thực tế đáp ứng được bài toán này. Sơ đồ hình 15.15a có giải thông rộng gồm một máy biến áp nâng điện áp giữa SQUID và bộ tiền khuếch đại và sơ đồ băng hẹp hơn gồm mạch RC nâng tổng trở ra SQUID (hình 15.15b). Trong cả hai trường hợp tín hiệu và bộ nhiễu đến từ SQUID bị nhân với hệ số biến đổi của hệ thống từ 10 đến 50.



Hình 15.15. Mạch hòa hợp SQUID với bộ tiền khuếch đại.

Hai giải pháp trên không có giá trị với tần số rất thấp ($f < 100$ Hz) vì kích thước của các phần tử điện cảm sẽ lớn.

Một phương pháp khác là xây dựng mạch hồi tiếp dương qua ghép điện cảm một dòng điện tỷ lệ với điện áp ra của SQUID (hình 15.16). Đặc tính từ thông-điện áp của SQUID hầu như hình sin, hồi tiếp dương hoặc âm tùy theo điểm làm việc sử dụng. Ở chế độ tín hiệu nhỏ truyền đạt V_Φ được thay đổi :

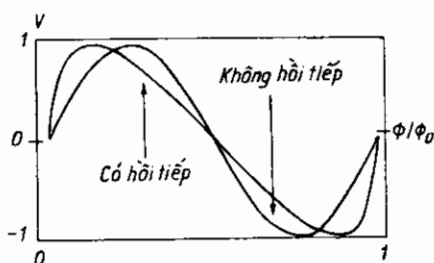
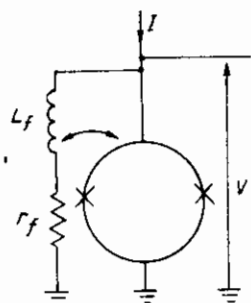
$$V'_\Phi = \frac{V_\Phi}{1 - A}$$

A là hệ số khuếch đại của mạch vòng, cũng vậy điện trở động của SQUID là :

$$r'_D = \frac{r_D}{1 - A}$$

Phương pháp cải tiến hệ số và hòa hợp điện trở ra SQUID giá trị tối ưu yêu cầu của bộ tiến khuếch đại. Theo phương

pháp này ta được $\frac{V'_\Phi}{V_\Phi} = 25$.



Hình 15.16. Mạch hồi tiếp áp dụng cho SQUID một chiều.

15.7. ỨNG DỤNG SQUID TRONG ĐO LƯỜNG

SQUID là cảm biến từ trường có độ phân giải rất cao. Trong khoảng 30 năm gần đây có sự tiến bộ đáng kể trong phép đo từ chính xác như nãu đồ từ, kiểm tra không phá hỏng mẫu, ngoài ra còn sử dụng đo điện áp chính xác : picovôn kế, bộ tiến khuếch đại chọn lọc và giải rộng có tần số từ một chiều đến 100 MHz.

15.7.1. Các đặc tính của SQUID

Sơ đồ bộ khuếch đại SQUID được cho trên hình 15.17a, thiết bị bao gồm nguồn áp e, tổng trở trong g có hệ số khuếch đại áp :

$$A = \frac{S}{e} = \frac{MV_\Phi}{Z_g + jX_s} \quad (15.34)$$

ở đây $X_s = \omega L_s$

$$M = k\sqrt{L}L_S$$

$$V_\Phi = \frac{R}{L} \text{ là biểu thức hàm truyền}$$

V_Φ (15.21) khi $\beta \rightarrow 1$.

Hilbert và Clarke đưa ra hệ số khuếch đại công suất

$$G = \left| \frac{s}{e} \right|^2 \frac{\operatorname{Re}(Z_g)}{r_D} \quad (15.35)$$

Mật khác nhiễu của hệ thống được biểu diễn bằng mô hình e_n , i_n ở mức điện cảm L_S (hình 15.17b) là

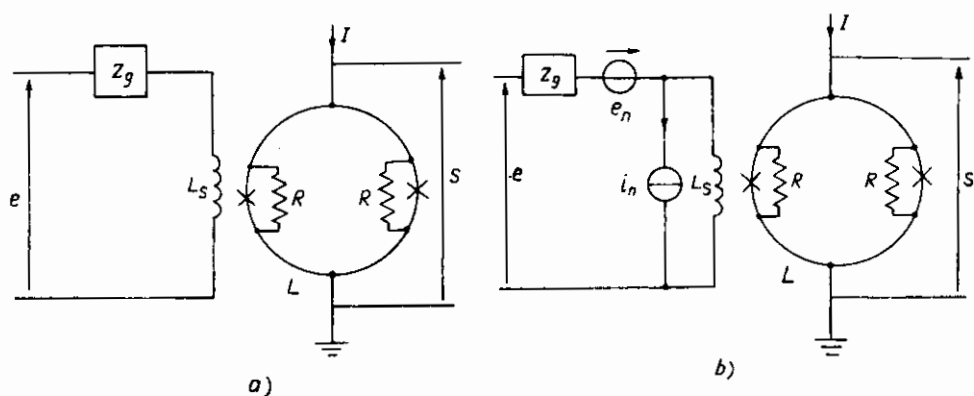
$$\bar{e}_n^2 = \omega^2 \frac{L L_S}{R} k_B T \left(\frac{16}{k^2} + 11k^2 - 24 \right) \text{ (V}^2/\text{Hz)} \quad (15.36)$$

$$\bar{i}_n^2 = \frac{16}{k^2} \frac{k_B T}{R} \frac{L}{L_S} \text{ (A}^2/\text{Hz)} \quad (15.37)$$

giữa nguồn nhiễu e_n và i_n có tương quan với hệ số tương quan

$$C = \frac{\overline{e_n i_n^*}}{\sqrt{\overline{e_n^2} \overline{i_n^2}}} = \frac{-j}{\sqrt{1 + \frac{2}{\left(3 - \frac{4}{k^2}\right)^2}}}$$

$c = -j$ với $k \leq 0,6$.



Hình 15.17. Sơ đồ nguyên lý (a) và sơ đồ tương đương của SQUID một chiều được sử dụng như bộ khuếch đại áp.

Tương quan giữa e_n và i_n giải thích rằng ta nhận được tính năng tối ưu về khuếch đại lựa chọn khi khuếch đại giải rộng. Hơn nữa khi khuếch đại giải rộng thường mong muốn đặt tần số cộng hưởng của mạch RLC sao cho thực hiện tổng trở nhiều tối ưu :

$$Z_{\text{opt}} = \frac{\omega M^2 V_\Phi}{S_v} \sqrt{S_v S_j - S_{vj}^2} + j\omega L_s \left(k^2 L V_\Phi \frac{S_{vj}}{S_v} - 1 \right) \quad (15.39)$$

trong đó $S_v = 16k_B T R$ là mật độ phổ thăng giáng điện áp ra khi SQUID cách ly với mạch vào ($k = 0$). $S_j = \frac{11k_B T}{R}$ là mật độ phổ thăng giáng của dòng điện J , $S_{vj} = 12k_B T$ là thành phần năng lượng phối ghép :

$$S_{vj} = C \sqrt{S_v S_j}$$

Nhiệt độ tối ưu của nguồn tương ứng là :

$$T_{\text{nopt}} = \frac{\omega}{2k_B V_\Phi} \sqrt{S_v S_j - S_{vj}^2} \quad (15.40)$$

Ngược lại nếu làm việc ở tần số của mạch vào điện trở tối ưu của nguồn là :

$$R_{\text{gopt}} = \omega M^2 V_\Phi \sqrt{\frac{S_j}{S_v}} \quad (15.41)$$

và nhiệt độ nhiễu của nó :

$$T_n = \frac{\omega}{2k_B V_\Phi} \sqrt{S_v S_j} \quad (15.42)$$

Trong các điều kiện này hệ số khuếch đại áp và công suất của sơ đồ là :

$$A = \frac{1}{\omega M} \sqrt{\frac{S_v}{S_j}} \quad (15.43)$$

$$G = \frac{V_\Phi}{\omega} \quad (15.44)$$

Cuối cùng, đối với bộ khuếch đại dải rộng, điện trở tối ưu của nguồn có biểu thức

$$R_{\text{gopt}} = \omega \sqrt{L_s^2 - 2M^2 V_\Phi L_s \frac{S_{vj}}{S_v} + M^4 V_\Phi^2 \frac{S_j}{S_v}}$$

nhiệt độ tương ứng là :

$$T_n = \frac{1}{2} \frac{S_v}{k_B M^2 V_\Phi^2} R_{\text{gopt}}$$

15.7.2. Biến thiên đặc tính theo tần số

Dù mạch vào như thế nào thì hệ số khuếch đại và tính năng đối với nhiễu của bộ khuếch đại SQUID suy giảm tuyến tính theo tần số, tổng trở tối ưu của nguồn tỷ lệ với tần số.

Ví dụ bằng số của thiết bị trong hình 15.4 với $L_s = 170 \text{ nH}$, $L = 210 \text{ pH}$, $M = 5 \text{ nH}$, $V_\Phi = 7,5 \cdot 10^{10} \text{ V/Wb}$ ở 1 MHz có $Z_{g \text{ opt}} = (0,90 + j 0,85) \Omega$, $T_n = 1 \text{ mK}$ so với các tính năng ở điều kiện cộng hưởng $R_{g \text{ opt}} = 2,1 \Omega$, $T_n = 2,3 \text{ mK}$ và ở khuếch đại giải rộng : $R_{g \text{ opt}} = 1,24 \Omega$, $T_n = 1,4 \text{ mK}$

Ta nhận thấy rằng ngay khi tần số tương đối cao, điện áp tương đương nhiễu của bộ khuếch đại SQUID rất thấp so với các tính năng của linh kiện bán dẫn, ngược lại các điều kiện đáp ứng với nhiễu thuận lợi cho các nguồn cấp tổng trở trong rất nhỏ. Khi tổng trở nguồn bằng không ta nhận được điện áp tương đương với nhiễu của sơ đồ cho theo phương trình (15.36), thay số ta được $e_n = 0,34 \text{ pV}/\sqrt{\text{Hz}}$ ở 1 MHz .

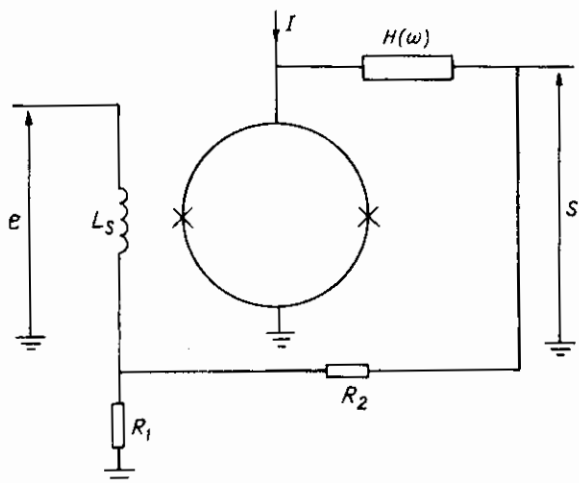
Để so sánh, một SQUID nhiệt độ tối hạn cao 77K có các đặc tính sau đây :

$R = 1 \Omega$, $L = 200 \text{ pH}$, $L_s = 100 \text{ nH}$, $k = 0,7$, $V_\Phi = 5 \cdot 10^9 \text{ V/Wb}$ nghĩa là $10 \mu\text{V}/\Phi_0$ ở 1 MHz , các đặc tính như sau : $e_n = 3,4 \text{ pV}/\sqrt{\text{Hz}}$. Đối với bộ khuếch đại chọn lọc ở tần số cộng hưởng : $T_n = 0,64 \text{ K}$ với $R_{g \text{ opt}} = 0,25 \Omega$.

15.7.3. Pico vôn kế

Bộ khuếch đại SQUID có thể được coi như vôn kế có tổng trở vào rất cao.

Sơ đồ nguyên lý của picô vôn kế cho trên hình 15.18.



Hình 15.18. Sơ đồ nguyên lý của picôvôn kế trên cơ sở SQUID một chiều.

Hệ thống có hồi tiếp song song nếu

$$\frac{MV_{\Phi}H(\omega)}{R_1 + R_2} > \left(\frac{R_1 R_2}{R_1 + R_2} + j L_s \omega \right), \text{ hệ số khuếch đại là :}$$

$$\frac{s}{e} = 1 + \frac{R_1}{R_2} \quad (15.47)$$

Với $R_2 \gg R_1$ tổng trở vào sẽ là :

$$Z_c = MV_{\Phi}H(\omega) \frac{R_1}{R_2}, \quad (15.48)$$

ở đây $H(\omega)$ là hệ số khuếch đại của khâu phát hiện.

Tính toán mô hình nhiễu của sơ đồ cho ta điện áp và dòng điện tương đương với nhiễu, trong cùng một điều kiện hệ số khuếch đại của vòng và $R_2 \gg R_1$:

$$e_v = e_n - e_1 - R_1 i_n, \text{ bỏ qua } \frac{R_1}{R_2} e_2 \quad (15.49)$$

$$i_v = i_n, \quad (15.50)$$

trong đó e_1 là nhiễu nhiệt của điện trở R_1 và e_n, i_n là đóng góp của nhiễu của SQUID quy đổi về mạch vào. Việc thực hiện một picovôn kế đòi hỏi phải nhân nhượng giữa đòi hỏi về điện trở vào và nhiễu nền. V. Poluskin đã thực hiện picovôn kế sử dụng SQUID hoạt động ở 4,2K có các đặc tính sau đây :

$$e_v = 5 \text{ nV}/\sqrt{\text{Hz}} \text{ ở } 10 \text{ Hz với } R_1 = 0,1 \Omega.$$

Tổng trở vào của vôn kế này, với giải thông 800 kHz bằng 100 kΩ ở 1 Hz giảm tuyến tính theo tần số. Phối hợp với máy phát, tổng trở nguồn $R_g = 0$. Độ nhạy của picovôn kế bị hạn chế bởi nhiễu nhiệt của điện trở hồi tiếp và bằng $e_v = 5,5 \text{ pV}/\sqrt{\text{Hz}}$ với $R_g = 1 \Omega$.

$e_v = 17 \text{ pV}/\sqrt{\text{Hz}}$ với $R_g = 5 \Omega$ và $30 \text{ pV}/\sqrt{\text{Hz}}$ với $R_g = 10 \Omega$. So với nhiễu của bản thân R_g ở 4,2 K sẽ lần lượt bằng $15,2 \text{ pV}/\sqrt{\text{Hz}}$, $34 \text{ pV}/\sqrt{\text{Hz}}$ và $48 \text{ pV}/\sqrt{\text{Hz}}$. Để so sánh với cùng giá trị R_1 điện áp tương đương với nhiễu của picovôn kế làm việc ở 77 K được xây dựng xung quanh SQUID nhiệt độ tới hạn cao hơn sẽ vào khoảng $20 \text{ pV}/\sqrt{\text{Hz}}$ với $R_g = 0$. Một cấu trúc tương tự với $R_1 = 0,2 \text{ m}\Omega$, mới được thực hiện xung quanh SQUID nhiệt độ tới hạn 77 K có độ phân giải $2,34 \text{ pV}/\sqrt{\text{Hz}}$.

15.8. TỪ KẾ CỤC NHAY CỤC BỘ

Từ kế cục nhảy sử dụng SQUID hoạt động theo nguyên lý như sau : Mẫu cần phân tích được đưa vào một trong các cuộn dây sơ cấp của máy biến áp từ thông thực hiện theo sơ đồ gradient kế (hình 15.12). Khi đặt vào một từ trường đồng nhất trên toàn bộ các cuộn dây sơ cấp sẽ tạo nên sự mất cân bằng từ thông tổng tỷ lệ với độ từ hóa của mẫu nghiên cứu và được truyền vào SQUID qua máy biến áp từ thông. Thiết bị này được chế thành thương phẩm có dải nhiệt độ từ 2K đến 400K và từ trường có thể đạt tới ± 5 T. Việc đưa mẫu và đặt nhiệt độ mong muốn được điều khiển bằng máy tính. Hệ thống tự động đặt mẫu, bù từ thông ký sinh, định thang và có thể phát hiện các mômen từ với độ phân giải $5 \cdot 10^{-12}$ A.m².

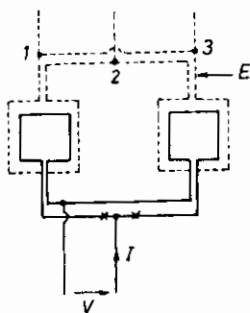
SQUID màng mỏng được chế tạo để đo từ hóa hoặc cộng hưởng từ hạt nhân của các mẫu rất nhỏ. Hình 15.19 trình bày sơ đồ một từ kế dùng cho cộng hưởng từ hạt nhân của vi mẫu. Vòng SQUID hình thành hai vòng phối hợp trong từ kế. Một mạch thứ hai vẽ bằng nét đứt được sử dụng cho mẫu không làm thay đổi tính đối xứng của hệ thống (dòng điện được đưa vào điểm 2 và 1-3, 1 và 3 bị ngắn mạch).

Vi mẫu cần nghiên cứu được đặt vào giữa. Một tổ hợp E vòng thứ hai cho phép đặt vào một trường một chiều (đối với từ kế) hoặc từ trường kích thích (đối với cộng hưởng từ hạt nhân) trên mẫu. Lý tưởng SQUID không nhạy với từ trường kích thích.

Trong từ kế từ trường chính do cuộn kích thích E tạo nên. Ở 4,2K nhận được độ nhảy 3000 *magneton*. Thí nghiệm khảo sát sự chuyển tiếp siêu dẫn của một hạt thiếc 5 μ m, tỷ số tín hiệu trên nhiễu là 10^6 .

Trong cộng hưởng từ hạt nhân, một cuộn dây khác tạo nên từ trường chính B_0 theo phương song song với mặt phẳng hình vẽ. Xung kích thích các spin được đặt vào qua E .

Với kết cấu này SQUID làm việc chính xác với giá trị $B_0 \ll 10^{-2}$ T. Các thực nghiệm cộng hưởng từ hạt nhân trong trường yếu ($6 \cdot 10^{-3}$ T) đã được thực hiện trên một hạt platin 50 μ m (gồm 10^{15} spin hạt nhân).



Hình 15.19. Sơ đồ từ kế cục nhảy màng mỏng.

15.9. TỪ KẾ TRONG KHÔNG GIAN TỰ DO

Các ví dụ trình bày trong các mục ở trên chủ yếu liên quan đến việc phát hiện, khuếch đại các tín hiệu gần cạnh SQUID. Tiếp theo ta sẽ trình bày một số ví dụ ứng dụng hiện tượng quan sát bên ngoài thiết bị lạnh.

15.9.1. Từ đồ các bộ phận cơ thể con người

Độ nhạy không bằng nhau của SQUID đối với các vật có nguồn gốc khác nhau như não, tim, phổi, gan... cho ta hình ảnh sự phân bố từ của chúng với dải từ $10^{-15}T$ đến $10^{-9}T$ với dải tần từ một chiều đến 1000 Hz. Đặc biệt não đồ từ đòi hỏi độ phân giải $10^{-15}T/\sqrt{Hz}$ cho phép ghi lại hoạt tính từ các tế bào não. Các cảm biến dựa trên cơ sở siêu dẫn ở nhiệt độ thấp đặt trong ngăn lạnh. Các nghiên cứu phát triển não đồ chủ yếu trên các hướng :

- Bố trí nhiều điểm đo
- Bảo vệ chống từ trường ngoài
- Đơn giản hóa SQUID cơ bản bằng cách thực hiện thiết bị màng mỏng chắc chắn và đưa vào cấu trúc cho phép cải tiến truyền đạt từ thông điện áp, tránh điều biến ngoài.
- Nghiên cứu xử lý tín hiệu cho phép xây dựng chính xác hình ảnh ba chiều.

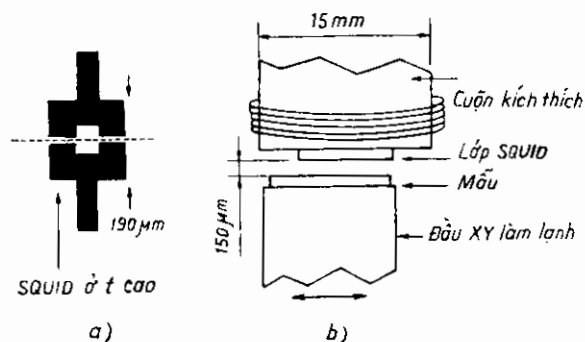
Não đồ kế từ siêu dẫn nhiệt độ nitơ lỏng đang được phát triển với độ nhạy trong dải $3 fT/\sqrt{Hz}$ đến $20 fT/\sqrt{Hz}$.

15.9.2. Kiểm tra không phá hủy mẫu

Một hướng quan tâm thứ hai của SQUID khi phối hợp với một máy biến áp từ thông kiểu gradient kế có thể làm việc trong môi trường chung quanh có cường độ lớn dùng kiểm tra không phá hủy mẫu, trong trường hợp này chỉ đòi hỏi độ nhạy từ 10^{-12} đến $10^{-8} T/\sqrt{Hz}$. Phép đo hoặc bằng từ hoặc điện từ. Đo điện từ cho phép kiểm tra bằng dòng Foucault của một phần tử dẫn điện để phát hiện sự không đồng nhất về điện dẫn.

Hình 15.20 là sơ đồ từ kế SQUID. Mẫu thử ở nhiệt độ môi trường xung quanh gắn sát bình lạnh (ví dụ mặt phẳng xOy) và có thể chuyển dịch song song với xOy. Trường kích thích một chiều được đặt vào mẫu qua cuộn dây vuông góc với xOy và cho phép nhận được thông tin phản ánh sự không đồng nhất về từ hóa. Trường hợp lý tưởng, mẫu là đồng nhất, từ thông tổng nhận được bằng không. Nếu có khuyết tật ΔV trong mẫu có thể đánh giá trạng thái từ bằng mômen từ lưỡng cực tỷ lệ với ΔV .

Từ đo kế điện từ có sơ đồ tương tự như hình 15.20. Vật dẫn cần thử được đặt dưới trường xoay chiều vài trăm Hz do cuộn kích từ tạo nên. Từ thông thu được phản ánh sự không đồng nhất của các dòng Foucault trong vật cần thử. Bằng cách sử dụng hệ thống siêu dẫn nhiệt độ thấp đặt ở một phía của một đai nối với bộ phận lạnh Podney đã phát hiện các lỗ khoảng 50 mm^3 đặt giữa hai tấm nhôm. Độ dày tổng của hai tấm là 15 mm .



Hình 15.20. Từ đo SQUID.

Bằng cách sử dụng SQUIDrf ở nhiệt độ tới hạn cao, C.X.Fan đã phát hiện các lỗ 6 mm^3 , cách cảm biến 2 cm . Trong thí nghiệm này hai tấm nhôm mỏng cách ly đặt trên nhau và nối tiếp về điện. Thanh gắn SQUID đặt còn thanh có lỗ nằm phía dưới. Dòng xoay chiều tần số 30 Hz , mật độ $0,5 \text{ A/cm}^2$ bơm trực tiếp vào mạch. Thí nghiệm này chứng minh khả năng của hệ thống SQUID phát hiện các chỗ nứt hoặc hiệu ứng ăn mòn không nhìn thấy trên bề mặt vật dẫn. Độ phân giải của dò từ hoặc điện từ bị hạn chế ở khoảng cách cảm biến vật ngày nay là khoảng trên $1,5 \text{ mm}$.

Kính hiển vi điện từ sử dụng SQUID một chiều ở nhiệt độ tới hạn cao 77 K để thu nhận hình ảnh của dòng Foucault. Trường kích thích do dòng điện Josephson chạy trong vòng SQUID. Tần số phân tích phụ thuộc vào điện áp trên các cực SQUID mở rộng đến 200 GHz . Bề mặt quan sát cỡ 10 mm^2 có độ phân giải 30 μm .

15.10. CẢM BIẾN TỪ TRỞ THAY ĐỔI RẤT NHIỀU (GMR)

Các vật liệu GMR (Giant Magnetoresistance Ratio) có tỷ số điện trở thay đổi gấp 10 lần tỷ số điện trở của vật liệu từ không đẳng hướng, do đó có thể sử dụng để đo từ trường trong khoảng từ 1 T đến 10 T .

15.10.1. Vật liệu GMR

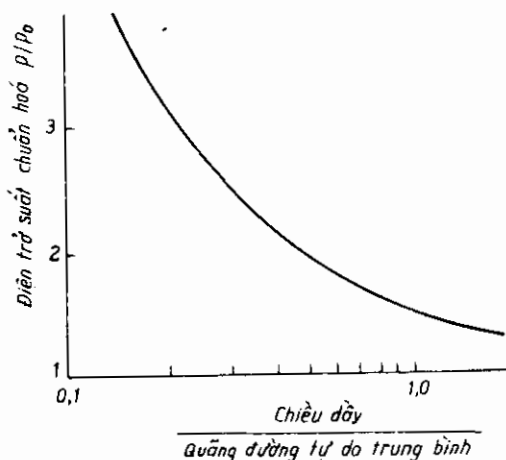
Nói chung các màng mỏng từ có điện trở suất cao hơn nếu nó mỏng hơn quãng đường tự do của các điện tử dẫn trong vật liệu. Điều này là do các điện tử được tán xạ từ các mặt màng khi các điện tử mất mômen

động lượng và năng lượng cũng như bị tán xạ trong màng. Do vậy mặt tán xạ đóng vai trò quan trọng trong điện trở của màng mỏng.

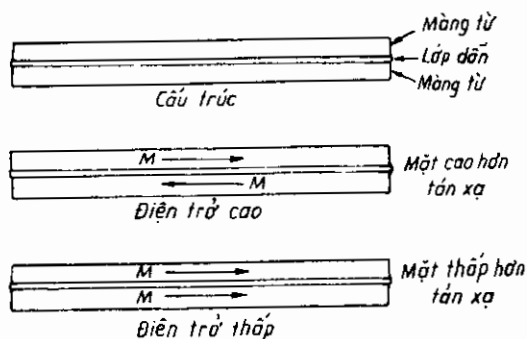
Khi đủ mỏng mặt tán xạ có thể là yếu tố quyết định đối với điện trở. Hình 15.21 cho quan hệ giữa điện trở suất tương đối của vật liệu GMR theo độ dày so với quãng đường tự do trung bình. Trong nhiều trường hợp kim permalloy quãng đường tự do trung bình cỡ $100\text{\AA}$ và đối với các màng mỏng cỡ $50\text{\AA}$ bề mặt tán xạ rất rộng. Nói chung chiều dày của màng từ được sử dụng trong cấu trúc GMR thường là $50\text{\AA}$.

Các vật liệu sắt từ có hai kiểu vật mang điện tử. Các điện tử spin up có phương từ hóa song song và các điện tử spin down có phương từ hóa song song ngược. Số lượng điện tử spin up nhiều hơn số lượng điện tử spin down và các điện tử spin down khó hoạt động như vật mang trong vật liệu sắt từ. Đó là lý do cơ bản trạng thái từ của các vật liệu đối với mặt tán xạ khác nhau, trong cấu trúc GMR.

Xét cấu trúc đơn giản trên hình 15.22 gồm hai màng từ phân cách bằng một màng dẫn không từ tính. Giả thiết màng dẫn không từ tính có cấu trúc lưới để các điện tử có thể từ màng từ qua màng không từ tính mà không tán xạ. Có hai trường hợp: đầu tiên hai vectơ từ hóa song song các điện tử spin up



Hình 15.21. Sự phụ thuộc của điện trở suất vào chiều dày màng từ.



Hình 15.22. Sự tán xạ trong lớp từ GMR.

(điện tử đa số) có thể từ màng từ qua lớp phân cách một cách dễ dàng mà không tán xạ. Trường hợp thứ hai hai vectơ từ hóa song song ngược, các điện tử đa số trong lớp từ trở nên spin down (thiếu số) và nó có xu hướng bị tán xạ khi từ lớp từ này sang lớp khác.

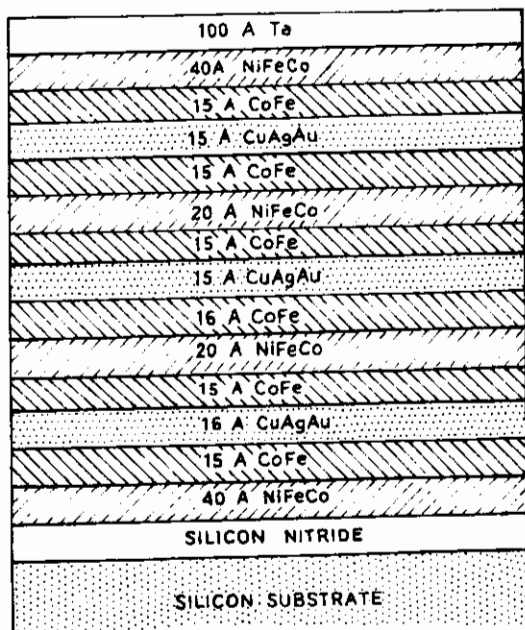
Như vậy khi từ hóa song song ngược tán xạ nhiều hơn điện trở sẽ lớn hơn còn khi từ hóa song song tán xạ ít hơn, điện trở sẽ nhỏ hơn. Vì sự tán xạ có ảnh hưởng lớn đến điện trở màng mỏng hai trạng thái từ có điện trở khác nhau rõ rệt. Như đã chứng minh khi từ hóa song song điện trở nhỏ hơn, người ta thực hiện cấu trúc nhiều lớp, trong đó khi từ trường đủ lớn có thể đạt tới trạng thái từ hóa song song (điện trở thấp) với bất kỳ cấu trúc GMR. Trạng thái từ hóa song song ngược có thể đạt tới bằng nhiều cơ chế khác nhau.

Các màng nhiều lớp sử dụng ghép phân từ giữa hai màng từ gần nhất và ở đây chiều dày của lớp không từ tính là tối hạn. Van spin và cấu trúc tunen sử dụng lớp có lực khử từ cao. Từ trường cần thiết để thay đổi trạng thái từ điện trở cao sang trạng thái thấp gọi là từ trường bão hòa.

15.10.2. Cảm biến GMR

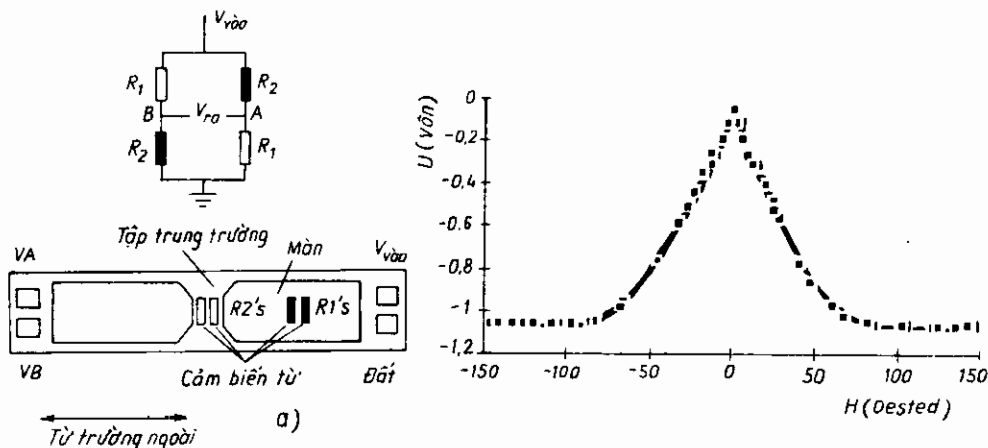
Các cảm biến sử dụng nhiều lớp ghép phân từ đã có trên thị trường. Cảm biến trên hình 15.23 có bốn lớp từ mỗi lớp có một số màng bố trí sao cho lớp CoFe mômen cao hơn phân cách với hợp kim đồng. Cách bố trí này cho GMR tương đối tốt khoảng $15 \div 20$ phần trăm và tránh việc khuếch tán Ni và Cu. Chiều dày của hợp kim đồng là tối hạn, vào khoảng $14 \div 18$ Å tùy theo đặc tính từ mong muốn.

Trên hình 15.24 là cấu trúc cảm biến kiểu từ trở.



Hình 15.23. Mặt cắt của nhiều lớp ghép phân sắt từ.

Vật liệu GMR khác thành bốn điện trở nối theo sơ đồ cầu Wheatstone, hai điện trở được bọc bằng vỏ mỏng hệ số từ thấm cao và hai điện trở kia được bố trí sao cho từ thông bên ngoài tập trung trong khe hở giữa các vỏ. Đặc tính điện áp - từ trường được cho trên hình 15.25.



Hình 15.24. a) Cấu trúc cảm biến GMR;
b) Đặc tính điện áp từ trường.

15.11. AMPE KẾ SỢI QUANG

Do tính chất không chịu tác động của nhiễu điện từ các cảm biến quang được ứng dụng trong đo lường điện và từ. Để đo điện áp một sợi đa mode dẫn ánh sáng đến bộ phân cực quang tiếp theo là tinh thể quang điện (BSO, BGO, Li NbO₃), chiếu phân cực ánh sáng quay trong tinh thể một góc tỷ lệ với cường độ điện trường đặt vào. Bộ phân tích biến đổi sự quay thành điều biến cường độ ánh sáng. Để đo dòng điện ta cũng có thể sử dụng nguyên lý này với các thanh thủy tinh hoặc tinh thể từ quang : từ trường tạo nên do dòng điện tạo nên sự quay phân cực do hiệu ứng Faraday.

Hình 15.25a là sơ đồ nguyên lý của ampe kế sợi quang. Theo biểu thức Verdet sự quay trong mặt phẳng phân cực của một sóng tỷ lệ với từ trường trong đó lan truyền ánh sáng.

Cường độ từ trường H do phần tử dẫn điện dl có dòng điện I chạy qua là :

$$\vec{H} = \int_c d\vec{H} = \frac{1}{4\pi} \int_c I \frac{d\vec{l} \wedge \vec{r}}{r^3} \quad (15.51)$$

Từ trường ở khoảng cách R của dây dẫn thẳng :

$$H = I/2\pi R \quad (15.52)$$

Góc θ của mặt phẳng phân cực của sóng theo hiệu ứng Faraday được biểu diễn theo quan hệ Verdet

$$\theta = V \vec{H} \cdot \vec{L} = VL \frac{I}{2\pi R} \quad (15.53)$$

ở đây : V là hằng số Verdet,

l - chiều dài của môi trường nằm trong từ trường.

Nếu sóng truyền trong một sợi quang gồm N vòng bao quanh một dây dẫn có dòng điện chạy qua, góc quay theo hiệu ứng Faraday của mặt phẳng phân cực của sóng N vòng có biểu thức :

$$\theta = V \int_{\text{vòng}} \vec{H} \cdot \vec{l} \quad (15.54)$$

Theo định luật Ampe tích phân của vectơ $\vec{H}$ theo một mạch vòng kín tỷ lệ với tổng đại số dòng điện bao lấy mạch

$$\theta_i = VI \quad (15.55)$$

Sợi quang bao N vòng dây, ta có :

$$\theta = N\theta_i = NVI \quad (15.56)$$

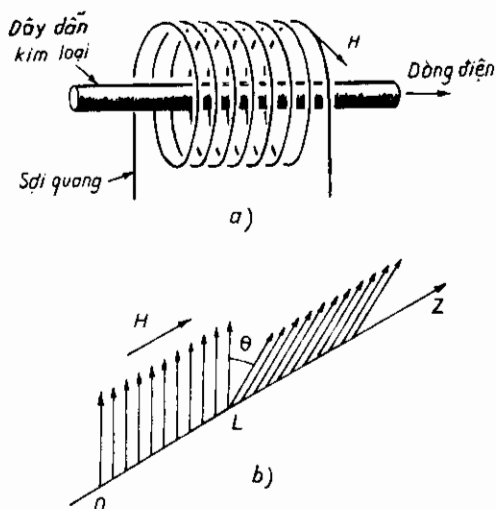
Sơ đồ đo dòng điện đơn giản nhất là sơ đồ phân cực kế, các tín hiệu I_1 và I_2 xuất phát từ hai cảm biến quang điện được khuếch đại vì sai, lượng S đặc trưng cho sự quay của vectơ phân cực :

$$S = (I_1 - I_2)/(I_1 + I_2) = \sin\theta \quad (15.57)$$

Biểu thức này cho phép xác định θ và được Leti phát minh từ 20 năm trước để đo dòng điện từ 7 đến 2000 A, dải thông từ 0 đến 10 kHz.

15.12. CẢM BIẾN HIỆU ỨNG HALL

Hiệu ứng Hall được sử dụng để đo từ trường cả về độ lớn và chiều. Cảm biến được bố trí như một cầu điện trở trong đó điện áp nguồn được



Hình 15.25. Ampe kế sợi quang
a) Sợi quang quấn quanh dây dẫn ;
b) Hiệu ứng Faraday.

mắc nối tiếp với điện trở (hình 15.26). Vấn đề nảy sinh khi phối hợp cảm biến Hall là điện áp lệch khá rộng. Điện áp này có thể được loại bỏ khi hiệu chỉnh dụng cụ. Tuy nhiên có nhiều biện pháp khắc phục điện áp này. Hình 15.26a trình bày sơ đồ tương đương của cảm biến Hall khi không có từ trường. Do sai lệch các điện trở sẽ xuất hiện điện áp lệch. Điện áp này do kết quả của nhiều nguyên nhân về công nghệ và hiệu ứng áp trở. Khi từ trường đặt vào vuông góc với mặt phẳng bộ cảm biến, điện áp ra tăng lên tỷ lệ với độ lớn của cường độ từ cảm theo công thức :

$$\Delta V_a = V_2 - V_1 = \left(\mu_H \frac{W}{H} E \right) B + \frac{R' - R}{2(R + R')} E \quad (15.58)$$

trong đó : μ_H là độ linh động điện tử Hall

W/L là tỷ số chiều rộng và chiều dài của phần tử Hall

E là điện áp kích thích, R là điện trở định mức của cầu,

R' là điện trở cầu chỉnh định sai.

Có thể giảm điện áp lệch khi chỉnh định dụng cụ hoặc phương pháp khử điện áp lệch động. Phương pháp dựa trên việc đóng mở các cực của cầu bằng cách sử dụng khóa chuyển mạch nhanh có điện trở thấp và điện trở cao. Trên hình 15.26b, cùng một điện trở như hình 15.26a, nhưng nối ngược, như vậy điện áp ra V_2 và các đầu kích thích được chuyển mạch. Điện áp ra khi đó sẽ là :

$$\Delta V_b = V_1 - V_2 = \left(\mu_H \frac{W}{H} E \right) B - \frac{R' - R}{2(R + R')} E \quad (15.59)$$

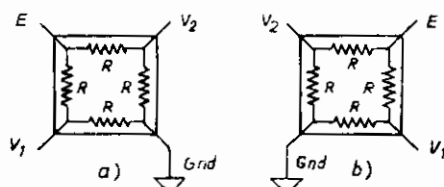
Do vậy thành phần phụ thuộc vào từ trường không chịu ảnh hưởng của sự thay đổi khi điện áp lệch đổi dấu. Cộng ΔV_a và ΔV_b ta được :

$$\Delta V = 2 \left(\mu_H \frac{W}{H} E \right) B \quad (15.60)$$

Ta nhận thấy B thay đổi không đáng kể.

Có thể thực hiện phép tổng bằng bộ tổng mạch tương tự hoặc bằng chuyển mạch tự điện. Mạch khử điện áp lệch gồm tầng khuếch đại tự điện chuyển mạch vi sai phối ghép với bộ cảm biến Hall. Ngoài ra còn có tầng lấy mẫu và lưu giữ (chuyển mạch φ_3) được sử dụng để biến đổi A/D. Bộ khuếch đại khử điện áp lệch một chiều và nhiễu tần số thấp của bộ khuếch đại thuật toán. Tầng vi sai biến đổi từ điện áp ra đối xứng thành điện áp ra không đối xứng với hệ số khuếch đại A . Điện áp ra trong trường hợp này là :

$$V_{ra} = 2A \frac{C_o}{C_f} \left(\mu_{H1} \frac{W}{L} E \right) B \quad (15.61)$$



Hình 15.26. Sơ đồ tương đương của bộ cảm biến Hall với hai phương pháp nối khác nhau.

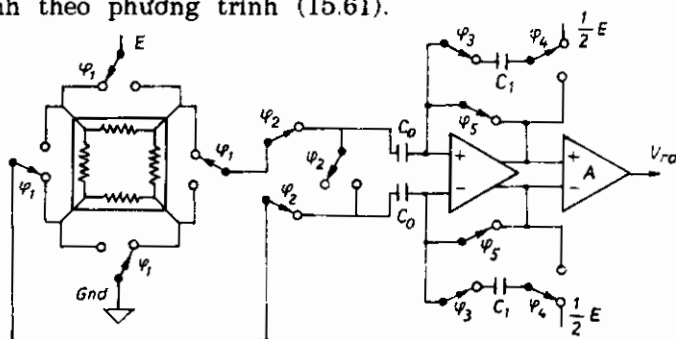
Mạch khử điện áp lệch thực tế hơi phức tạp hơn bởi vì cần khử sự bơm điện tích bằng khóa chuyển mạch φ_5 . Lưu ý là điện áp ra phụ thuộc vào nhiệt độ. Phương pháp bù có hiệu quả đối với bộ cảm biến Hall silic kích tạp n là sử dụng nguồn dòng ổn định nhiệt độ I_o . Điện áp kích thích là :

$$E = IR_H = I_o \frac{L}{9\mu_N N_D W t} \quad (15.62)$$

trong đó : μ_N là độ linh động của điện tử, t là chiều dày của phần tử Hall, N_D là mật độ kích tạp n và q là điện tích của điện tử. Thay thế (15.62) vào phương trình (15.61) ta được :

$$V_{ra} = 2A \frac{C_o}{C_f} \frac{\mu_H I_o}{9\mu_N N_D t} B \quad (15.63)$$

Vì μ_H gần bằng μ_N điện áp ra ổn định về nhiệt độ hơn so với điện áp ra xác định theo phương trình (15.61).



Hình 15.27. Chuyển mạch tự điện để khử điện áp lệch.

15.13. BOLOMET

Bolomet là nhiệt điện trở cực nhỏ được sử dụng để đo trị số hiệu dụng của tín hiệu điện từ có dải phổ từ vi sóng đến hồng ngoại. Ứng

dụng chủ yếu của bolomet hồng ngoại để phát hiện và ghi hình ảnh nhiệt, đo cường độ trường cực bộ công suất lớn, thử nghiệm thiết bị vi sóng, thử nghiệm chùm anten radio, thử nghiệm vũ khí vi sóng công suất cao. Nguyên lý hoạt động của nó dựa trên quan hệ giữa tín hiệu điện từ hấp thụ và công suất tiêu tán. Các bước biến đổi trong bolomet như sau :

- Điện trở được thể hiện bức xạ điện từ. Bức xạ do điện trở hấp thụ được biến thành nhiệt.
- Nhiệt làm tăng nhiệt độ của điện trở so với môi trường xung quanh.
- Sự tăng nhiệt được biểu diễn bằng công suất điện từ và được đo bằng các phương pháp thích hợp.

Mạch cơ sở cung cấp cho bolomet được biểu diễn trên hình 15.28 gồm có điện trở R là điện trở của bolomet, điện trở chuẩn R_0 và nguồn áp E . Điện áp V trên R_0 là tín hiệu ra. Giá trị của nó là lớn nhất nếu hai điện trở này bằng nhau. Độ nhạy của bolomet với bức xạ điện từ tới có thể được tính bằng :

$$\beta_v = \frac{\alpha \varepsilon Z_T E}{A \sqrt{1 + (\omega \tau)^2}} \quad (15.64)$$

trong đó : $\alpha = (dR/dT)/R$ là hệ số nhiệt điện trở của bolomet. ε là xuất bức xạ bề mặt, Z_T là nhiệt trở của bolomet, phụ thuộc vào chế tạo và cấu trúc dĩa, τ là hằng số thời gian nhiệt, phụ thuộc vào Z_T , nhiệt dung của bolomet và tần số.

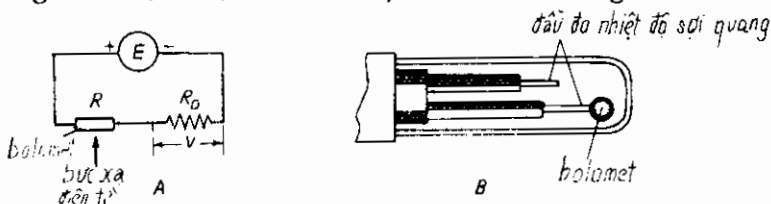
Vì nhiệt độ của bolomet tăng ΔT :

$$\Delta T = T - T_0 = P_E Z_T = \frac{E^2}{4R} Z_T \quad (15.65)$$

điện trở của nhiệt điện trở bolomet có thể được biểu diễn bằng :

$$R = R_0 \cdot (1 + \alpha_0 \Delta T) \quad (15.66)$$

Phương trình (15.64) có thể được biểu diễn bằng :



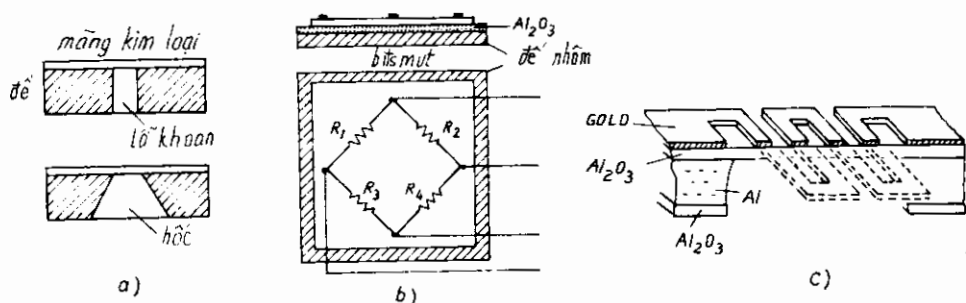
Hình 15.28. Mạch tương đương của bolomet (A) và cấu tạo của bolomet quang (B).

$$\beta_v = \frac{1}{2} \varepsilon \alpha_0 \sqrt{\frac{RZ_T \Delta T}{1 + \alpha_0 \Delta T [1 + (\omega \tau)^2]}} \quad (15.67)$$

do đó để cải thiện đáp ứng của bolomet cần tăng điện trở và nhiệt trở.

Bolomet thường được chế tạo dưới dạng điện trở nhiệt rất nhỏ treo trên sợi mảnh. Người ta còn chế tạo bolomet dưới dạng màng mỏng trên bề mặt silic hoặc màng thủy tinh trên đế Silic. Hình 15.29a, là bolomet màng kim loại tạo nên trên đế có lỗ hổng. Tùy ứng dụng để có thể được làm bằng gốm oxit nhôm hoặc thủy tinh kim loại cách điện, hoặc miếng Silic. Khe hẹp có thể được tạo nên trên đế. Các miếng Silic có thể được khắc, trong khi đó các gốm alumin được khoan bằng khoan kim cương, tốc độ cao hoặc đục các khe thích hợp, sau đó làm các chân trên đế và phủ lớp mỏng bằng vật liệu hữu cơ trên đỉnh màng kim loại. Màng kim loại (Niken, vàng hoặc bismuth) tạo nên bolomet. Hình 15.30 biểu diễn bolomet màng mỏng bằng vàng tạo nên trên lớp oxit nhôm. Chiều dày của lớp dẫn khoảng 20 nm. Khi ta muốn phát hiện vị trí của hai bức xạ điện từ hội tụ tới có thể sử dụng hai bolomet bố trí như hình 15.29.b. Bolomet gồm lớp mỏng bismuth có bốn tiếp điểm. Lớp bismuth tạo nên các điện trở nhạy với nhiệt độ nằm giữa các tiếp điểm.

Các điện trở từ R_1 đến R_4 được đo riêng biệt. Khi bức xạ điện từ được tụ tiêu trên bề mặt của bộ cảm biến, trị số điện trở của nó biến thiên tỷ lệ với chùm tia bức xạ đến tiếp điểm tương ứng. Khi chế tạo bolomet cần phải giải quyết vấn đề cách nhiệt của phần tử cảm nhận với cấu trúc đỡ, dây nối và giao diện điện tử. Tổn thất nhiệt trên các phần tử có thể gây sai số và làm giảm độ nhạy. Sử dụng kỹ thuật sợi quang có thể loại bỏ được dây nối kim loại.



Hình 15.29. Bolomet màng mỏng. a) Hai loại khe dùng kỹ thuật khoan và khắc; b) Bolomet hai chiều; c) Bolomet màng mỏng bằng vàng tạo trên đế oxit nhôm.

15.14. CẢM BIẾN CỘNG HƯỞNG TỪ HẠT NHÂN

Cảm biến cộng hưởng từ hạt nhân là loại cảm biến dựa trên hiện tượng vật lý hạt nhân nguyên tử.

Trong những năm 1960 giáo sư Spektor S.A. ở trường Đại học Bách khoa Pêtecua đã sử dụng hiện tượng cộng hưởng từ hạt nhân vào kỹ thuật đo lường. Nhờ đó việc đo cường độ từ trường cũng như các đại lượng khác có quan hệ với nó như dòng điện lớn chẳng hạn đã nâng cao được độ chính xác lên rất nhiều lần.

15.14.1. Nguyên lý hoạt động cảm biến

Ta biết rằng các hạt nhân nguyên tử có chứa một mômen từ ký hiệu là μ và mômen khối lượng chuyển động được gọi là *spin* p . Tỷ số của các mômen ấy là $\gamma = \mu/p$ gọi là hệ số *từ thủy* của hạt nhân. Nó là một hằng số có độ lớn không phụ thuộc vào các điều kiện bên ngoài.

Nếu ta đặt vật liệu (ví dụ : nước nặng) trong một ống nghiệm. Sau đó đặt cả ống nghiệm vào trong một từ trường đều (hình 15.30a) có độ từ cảm B thì các mômen từ $\vec{\mu}$ sẽ quay xung quanh vectơ $\vec{B}$ (hình 15.30b). Lúc đó mômen lực M tác động lên các mômen từ μ được biểu diễn bằng phương trình :

$$M = |\vec{\mu} \times \vec{B}|, \quad (15.68)$$

còn phương trình chuyển động sẽ có dạng :

$$\frac{d\vec{B}}{dt} = M = |\vec{\mu} \times \vec{B}| \quad (15.69)$$

$$\text{Nhưng mặt khác :} \quad \frac{dP}{dt} = P\omega \quad (15.70)$$

ω - là tần số quay của mômen từ xung quanh B . Từ đó ta có :

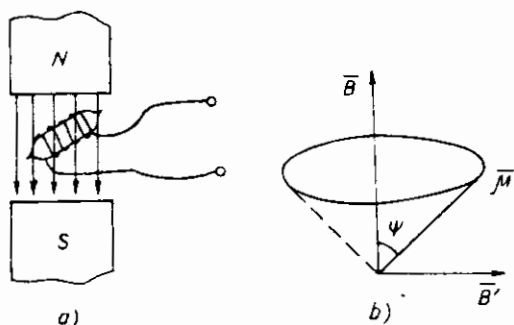
$$\mu B = P\omega$$

$$\text{nghĩa là} \quad \omega = \frac{\mu B}{P} = \gamma B \quad (15.71)$$

Nếu trong mặt phẳng vuông góc với từ trường $\vec{B}$ ta tạo ra một từ trường xoay chiều $\vec{B}'$ có tần số cao cũng quay với mômen từ. Khi vectơ $\vec{B}'$ quay đồng bộ với các mômen từ μ thì sẽ gây ra sự thay đổi của từ trường cao tần và sẽ suất hiện mômen tác động lên μ làm thay đổi góc φ giữa $\vec{B}$ và $\vec{\mu}$.

Khi có sự cân bằng giữa tần số quay ω của mômen từ $\vec{\mu}$ xung quanh $\vec{B}$ và tần số quay của vectơ $\vec{B}'$ sẽ sinh ra cộng hưởng. Đó là hiện tượng *cộng hưởng từ hạt nhân*.

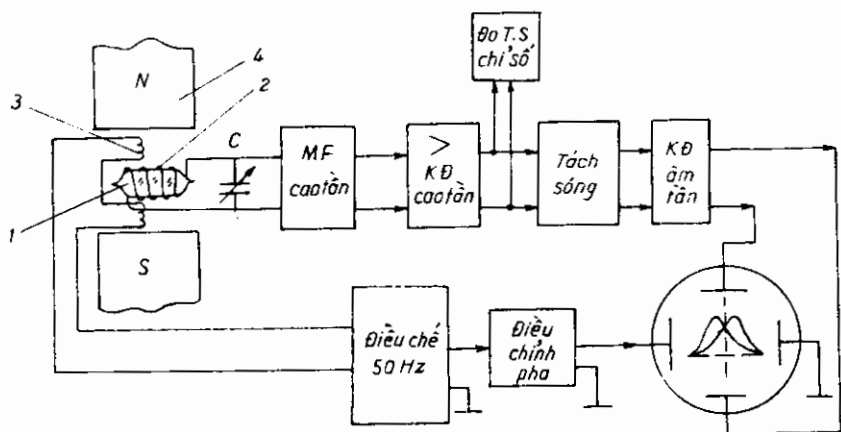
Như vậy có thể xác định B theo giá trị tần số cộng hưởng ω và hệ số từ thủy γ . Hệ số γ đối với mỗi chất có thể xác định chính xác đến 0,001% còn sai số do ω có thể đạt đến 0,001% bằng tần số kế chỉ thị số. Cho nên nếu sử dụng loại cảm biến này có thể đo từ cảm của từ trường với độ chính xác cao hơn hẳn các phương pháp thông thường khác.



Hình 15.30. Cảm biến lượng tử.

15.14.2. Mạch đo

Một ống nghiệm 1 chứa một chất (ví dụ nước nặng D) đặt vào trong một cuộn dây 2. Cuộn dây này cùng với điện dung C (có thể thay đổi được) tạo thành một máy phát cao tần LC. Ống nghiệm và cuộn dây được đặt trong một từ trường đều có từ cảm cần đo B_x của nam châm vĩnh cửu 4 (hình 15.31).



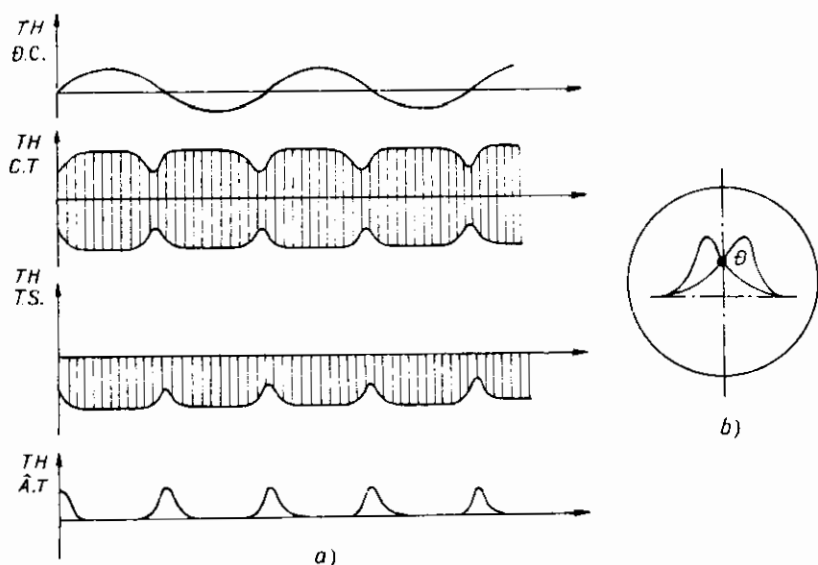
Hình 15.31. Mạch đo của cảm biến cộng hưởng từ hạt nhân.

Khi xảy ra hiện tượng cộng hưởng là lúc mà tần số quay của proton (hạt nhân hydro) bằng tần số của máy phát cao tần ở một giá trị nào đó của độ từ cảm B . Ở trạng thái đó sẽ xảy ra sự mất mát năng lượng làm giảm biên độ dao động của máy phát. Để lập lại hiện tượng cộng hưởng và nhận được tín hiệu liên tục, từ trường không đổi B_x được điều chế bởi một từ trường xoay chiều có tần số thấp 50 Hz bằng một cuộn

dây phụ (3) đặt trong từ trường. Như vậy điện áp cao tần của máy phát cũng bị điều chế. Sau đó vào khuếch đại cao tần, qua tách sóng vào khuếch đại âm tần và đưa đến hai bản cực Y của dao động kí điện từ.

Mặt khác ta đưa tín hiệu điều chế 50 Hz qua bộ điều chỉnh pha vào hai bản cực Y của dao động ký.

Quá trình này được biểu diễn ở hình 15.32 tín hiệu điều chế 50 Hz có chu kỳ là T_M . Cứ mỗi chu kỳ T_M điều kiện cộng hưởng được lặp lại hai lần. Vì khi tín hiệu điều chế đi qua điểm "O" giá trị B tại đó có cộng hưởng sẽ lặp lại. Như vậy trên màn hình của dao động kế sẽ xuất hiện hai tín hiệu (hình 15.32b).



Hình 15.32. a) Tín hiệu cộng hưởng từ hạt nhân ;

b) Tín hiệu cộng hưởng trên màn dao động ký điện từ.

Điều chỉnh pha của tín hiệu điều chế vào hai cực X của dao động ký ta có thể tách thành hai tín hiệu như ở hình 15.32b. Điểm giao nhau ở giữa Đ sẽ là điểm cộng hưởng. Khi điểm Đ đạt vị trí ở giữa màn hình của dao động ký thì ta đo tần số cao tần bằng tần số kế chỉ thị số. Từ đó theo biểu thức (15.73) ta tính được độ từ cảm B_x cần đo.

15.14.3. Ứng dụng

Phương pháp kể trên được ứng dụng để đo độ từ cảm của từ trường đều lớn hơn 0,005 T. Giới hạn đo phụ thuộc vào loại hạt nhân nguyên tử của chất mà ta sử dụng.

Ví dụ : Nếu dùng hạt nhân hydro (H_2) thì ta có thể đo từ trường đến 0,5 T; Nếu dùng L_i^7 thì đo từ 0,5 ÷ 1,0 T còn dùng nước nặng D thì có thể đo từ 1,0 T trở đi.

Sai số của phép đo từ trường này phụ thuộc vào các yếu tố như sau :

- Sai số do tần số có thể đạt đến 0,001%.
- Sai số do việc xác định hệ số từ thủy γ là 0,001%.
- Sai số do việc tìm điểm cộng hưởng có thể đạt 0,05 - 0,1%.

Vì vậy phép đo từ trường này có thể đạt đến 0,1% - 0,2%. Trong khi đo bằng các phương pháp thông thường ta chỉ đạt được 1,5 ÷ 2%.

Ngoài việc đo từ trường, thực tế phương pháp này đã được ứng dụng rộng rãi để đo dòng lớn (xem chương 8). Trong lĩnh vực y học người ta đã sử dụng loại chuyển đổi này để sản xuất máy chụp cắt lớp (Scanner) là loại máy phát hiện các khối u ở bên trong não hay trong cơ thể.

15.14.4. Cảm biến cộng hưởng từ điện tử

Ngoài cảm biến cộng hưởng từ hạt nhân, người ta còn sử dụng cảm biến cộng hưởng điện tử. Trong cảm biến này phương pháp và thiết bị để tìm cộng hưởng giống như đối với cộng hưởng từ hạt nhân.

Hệ số cảm biến từ thủy điện tử được tính theo công thức sau đây :

$$\gamma_{dt} = \frac{e}{2m_e C} , \quad (15.72)$$

trong đó : e - điện tích của điện tử

m_e - khối lượng của điện tử

C - tốc độ ánh sáng.

So sánh với cộng hưởng từ hạt nhân cộng hưởng từ điện tử có γ_{dt} lớn hơn 10^3 lần hệ số từ thủy hạt nhân γ và tần số cộng hưởng cũng lớn hơn 3 lần.

- Tín hiệu cộng hưởng từ điện tử cũng lớn hơn tín hiệu cộng hưởng từ hạt nhân vì thế mà có thể đo B_x nhỏ hơn (từ 1.10^{-5} ÷ $5.10^{-4}T$) mà phương pháp cộng hưởng từ hạt nhân khó thực hiện được.

- Sai số của phương pháp cộng hưởng từ điện tử lớn hơn cộng hưởng từ hạt nhân vì độ rộng của cộng hưởng khá lớn do vậy mà việc tìm cộng hưởng vấp phải sai số lớn hơn.

- Cộng hưởng từ điện tử cũng được sử dụng để đo từ trường đều và các đại lượng khác liên quan đến từ trường đều.

Chương 16

ỨNG DỤNG CÔNG NGHIỆP CỦA TIA HỒNG NGOẠI

Các quá trình công nghệ trong công nghiệp tiêu tốn rất nhiều năng lượng. Việc đo nhiệt độ đóng vai trò quan trọng trong việc điều chỉnh và khống chế quá trình nhiệt làm tăng năng suất, chất lượng sản phẩm và tiết kiệm năng lượng. Hình ảnh nhiệt bằng tia hồng ngoại là phương pháp nghiên cứu phân bố nhiệt tổng thể rất hiệu quả. Vấn đề này đã được đề cập sơ bộ trong chương các bộ cảm biến quang và cảm biến nhiệt độ.

Trong chương này sẽ đi sâu trình bày phương pháp sử dụng tia hồng ngoại trong việc đo lường điều chỉnh và điều khiển một số quá trình công nghệ.

Tia hồng ngoại do Herschel phát hiện từ năm 1800 và đang được sử dụng rộng rãi trong các quá trình công nghệ để đo và khống chế các quá trình nhiệt. Chương này trước hết trình bày các bộ cảm biến hồng ngoại sau đó giới thiệu các máy phân tích hình ảnh nhiệt hồng ngoại, một công cụ đo không phá hủy mẫu.

16.1. CÁC ĐẶC TÍNH CHUNG CỦA BỘ CẢM BIẾN HỒNG NGOẠI

16.1.1. Đặc tính dòng - áp

Để nghiên cứu các tính chất của bộ cảm biến hồng ngoại cần xây dựng đặc tính tĩnh quan hệ giữa dòng điện và điện áp $i = f(v)$. Đặc tính này cần được giới hạn trong miền công suất, bằng việc lựa chọn điểm làm việc tĩnh để không làm tổn hại đến bộ cảm biến và cho phép chọn điểm làm việc trên đoạn tuyến tính của đặc tính. Điểm làm việc là giao điểm giữa đường tải do điện trở R và điện áp phân cực V_0 quyết định và họ đặc tính dòng áp (hình 16.1).

Trong đoạn tuyến tính của đặc tính dòng áp, biến thiên của các thông số theo phương trình đạo hàm riêng sau đây :

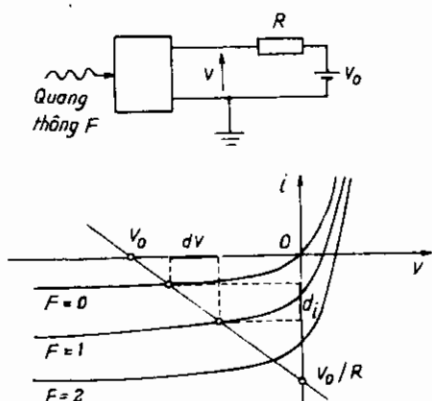
$$di = \frac{\partial i}{\partial F} dF + \frac{\partial i}{\partial v} dv = S_i dF + A dv \quad (16.1)$$

$$dv = \frac{\partial v}{\partial F} dF + \frac{\partial v}{\partial i} di = S_v dF + Z di$$

Phương trình (16.1) cho phép xác định các thông số của bộ cảm biến :

- Độ nhạy theo quang thông $S_v = \frac{\partial v}{\partial F} (V/W)$ và $S_i = \frac{\partial i}{\partial F} (A/W)$.

- Trở kháng : $Z = \frac{\partial v}{\partial i}$ hoặc dẫn nạp $A = \frac{\partial i}{\partial v}$.



Hình 16.1. Đặc tính dòng - áp.

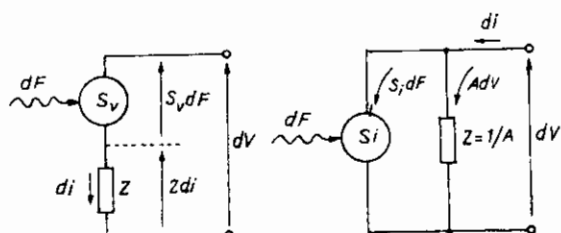
Ta có thể biểu diễn quan hệ (16.1) bằng sơ đồ thay thế (hình 16.2). Công suất trên tải sẽ cực đại khi tổng trở hòa hợp nghĩa là $Z = R_{tải}$.

16.1.2. Quan sát tín hiệu

Khi tín hiệu kích thích vào bộ cảm biến có dạng hình vuông, nhờ các dụng cụ đo nhảy ta có thể nhận được đáp ứng i hoặc v (hình 16.3).

Các đáp ứng này dao động xung quanh giá trị trung bình của tín hiệu. Các biến thiên này có thể được phân thành hai loại :

- Nhiều phụ thuộc vào các thông số bên ngoài như nhiệt độ, quang thông hoặc do sự lão hóa của hệ thống.
- Nhiều do bản chất hạt của vật chất và bức xạ như nguyên tử,



Hình 16.2. Sơ đồ thay thế bộ cảm biến.

photon cũng như dao động nhiệt của các hạt. Có thể loại bỏ các loại nhiễu đầu tiên nhưng đối với loại nhiễu thứ hai thì không thể khắc phục được. Đó cũng chính là giới hạn phạm vi làm việc và độ chính xác của phép đo.

16.1.3. NHIỀU

Phân bố phổ của thăng giáng dòng hoặc áp theo khoảng tần số được tính theo giá trị quân phương :

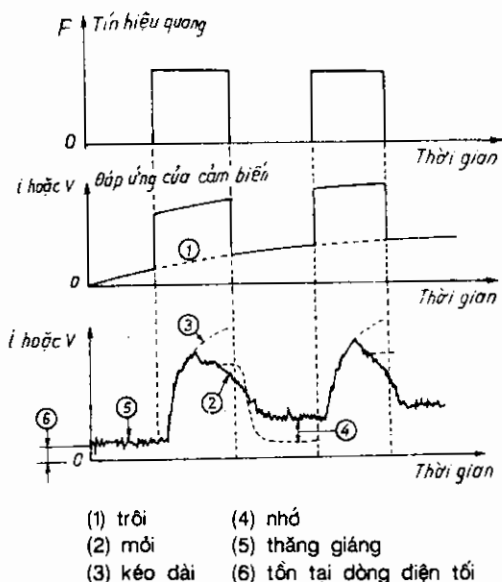
$$\overline{\frac{dv^2}{dv}} = \frac{1}{\delta t \delta \nu} \int_{t_0}^{t_0 + \delta t} dv^2 dt$$

$$\overline{\frac{di^2}{d\nu}} = \frac{1}{\delta t \delta \nu} \int_{t_0}^{t_0 + \delta t} di^2 dt$$

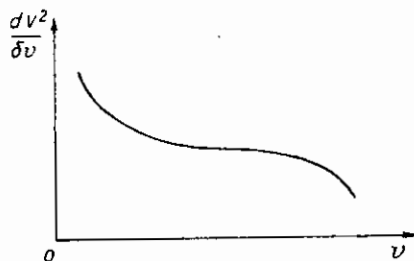
(16.2)

Đường biểu diễn của nó nói chung có dạng trên hình 16.4. Ở miền tần số thấp nhiễu giảm theo hàm $1/\nu$ do sự không hoàn thiện của bề mặt bộ cảm biến. Ở các tần số trung bình phân bố phổ nhiễu không đổi (vì thế gọi là tạp trắng). Vùng này tương ứng với các nguyên nhân cơ bản do kích thích nhiệt và tính chất hạt của ánh sáng và dòng điện. Ở tần số cao nhiễu lại giảm theo tần số, tương ứng với suy hao độ nhạy của bộ cảm biến, bị giới hạn bởi thời gian chuyển tiếp và tổng trở ký sinh.

Khi tín hiệu quang hình sin tần số ν_0 , biên độ F với tải Z' ta có thể xây dựng mạch tương



Hình 16.3. Sự thăng giáng của đáp ứng.



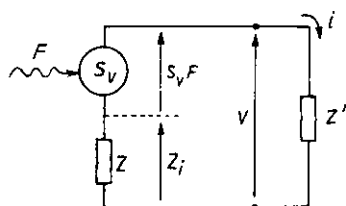
Hình 16.4. Phân bố phổ của nhiễu.

đương (hình 16.5). Từ đó suy ra :

$$S_v F + Z i = -Z' i$$

$$i = - \frac{S_v F}{Z + Z'} \quad (16.3)$$

Trị số hiệu dụng của công suất tín hiệu tiếp nhận trên tải Z' :



Hình 16.5. Mạch tương đương bộ cảm biến nối với tải Z' .

$$W_s = \frac{Z' i^2}{2} = \frac{Z' (S_v F)^2}{2(Z + Z')^2} \quad (16.4)$$

ở tải hòa hợp $Z = Z'$ và $W_s = (S_v F)^2 / 8Z'$.

$$\text{Công suất do nhiễu } W_b = \frac{1}{Z'} \int_0^\infty \frac{dV^2}{dv} dv \quad (16.5)$$

Bộ cảm biến phối hợp với bộ tiền khuếch đại có hệ số khuếch đại $G(v)$, cho đáp ứng về công suất là :

$$\text{Đối với tín hiệu } W_s = G(v_o) \frac{(S_v F)^2}{8Z'} \quad (16.6)$$

$$\text{Đối với nhiễu } W_b = \frac{1}{Z'} \int_0^\infty G(v') \frac{dv^2}{dv} dv \quad (16.7)$$

Tỷ số tín hiệu trên nhiễu là tỷ số giữa công suất tín hiệu W_s và công suất do nhiễu, W_b :

$$\frac{W_s}{W_b} = \frac{(S_v F)^2}{8 \int_0^\infty \frac{G(v)}{G(v_o)} \frac{dv^2}{dv} dv} \quad (16.8)$$

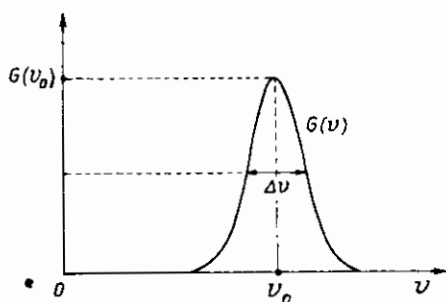
Để bộ cảm biến hoạt động tốt thì tỷ số tín hiệu trên nhiễu phải lớn. Để W_s/W_b lớn $G(v)/G(v_o)$ phải nhỏ, điều này ứng với bộ lọc thông thấp (hình 16.6).

Độ rộng dải được xác định bằng :

$$\Delta v = \frac{1}{G(v_o)} \int_0^\infty G(v) dv \quad (16.9)$$

Nếu độ rộng giải hẹp tương ứng với tỷ số tín hiệu trên nhiễu lớn. Trong điều kiện có nhiễu trắng giáng tỷ số tín hiệu trên nhiễu bằng :

$$\frac{W_s}{W_b} = \frac{(S_v F)^2}{8 \frac{dv^2}{dv} \Delta v} \quad (16.10)$$



Hình 16.8. Bộ lọc thông thấp.

Vì công suất kích thích bằng quang thông F_0 tương đối yếu, công suất tín hiệu thu nhận W_s tương đương với công suất do nhiễu W_b , $W_s/W_b = 1$, ta gọi quang thông F_0 là công suất tương đương với nhiễu và ký hiệu là NET (Noise Equivalent Power) :

$$NET = F_0 = \frac{\sqrt{8dV^2 \Delta v}}{S_v} \quad (\text{tính bằng W}). \quad (16.11)$$

Ta định nghĩa độ cảm biến D (tính bằng $1/W$) của bộ thu quang là nghịch đảo của quang thông tương đương với nhiễu :

$$D = \frac{1}{NEP} = \frac{1}{F_0} = \frac{S_v}{\sqrt{8 \frac{dv^2}{dv} \Delta v}} \quad (16.12)$$

D phụ thuộc vào nhiều yếu tố :

- Phụ thuộc vào phổ và tần số điều biến quang
- Vào điều kiện phân cực và độ rộng phổ làm việc của hệ thống phát hiện
- Vào nhiệt độ của bộ cảm biến.

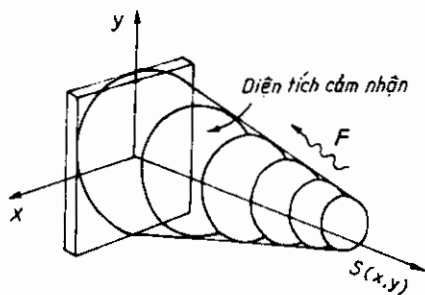
Đối với đa số bộ cảm biến D tỷ lệ nghịch với căn bậc hai diện tích A của bộ cảm biến.

Để dẫn tới tiêu chuẩn so sánh giữa các bộ cảm biến khác nhau nên sử dụng độ cảm biến quy đổi về đơn vị bề mặt nhạy cảm và đơn vị dải thông gọi là độ nhạy cảm riêng (tính bằng $W^{-1}cm.Hz^{1/2}$).

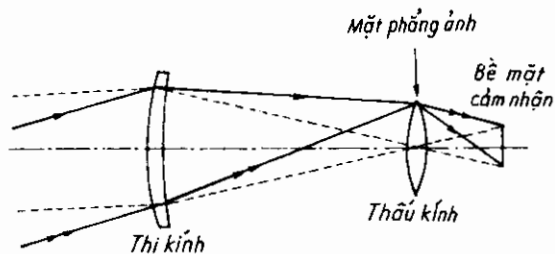
$$D^* = D\sqrt{A} \cdot \sqrt{\Delta v} = \frac{\sqrt{A\Delta v}}{NEP} \quad (16.13)$$

16.1.4. Độ nhạy

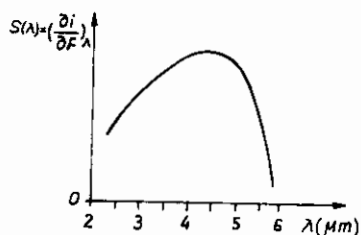
Đáp ứng với quang thông F không đổi trong chùm tia hình nón tập trung vào bộ cảm biến phụ thuộc vào vị trí của điểm sáng trên bề mặt nhạy cảm. Độ nhạy $S(x,y)$ của bộ cảm biến nói chung không đều trên bề mặt và được biểu diễn trên hình 16.7. Trong hệ thống đo quang thông nên phối hợp một thị kính và thấu kính để thu được quang thông đều và không phá hủy phần tử nhạy cảm khi nguồn sáng điểm quá mạnh (hình 16.8). Độ nhạy phổ của bộ cảm biến được cho trên hình 16.9.



Hình 16.7. Độ nhạy cục bộ của bộ cảm biến.



Hình 16.8. Bố trí thị kính và thấu kính



Hình 16.9. Độ nhạy phổ của cảm biến.

Nếu bộ cảm biến nhận ánh sáng có thành phần phổ cho trước, độ nhạy tổng hợp đối với ánh sáng này được tính bằng :

$$S_g = \left(\frac{\partial i}{\partial F_g} \right) = \frac{\int_0^\infty \left(\frac{\partial i}{\partial F} \right)_\lambda \frac{dF}{d\lambda} d\lambda}{\int_0^\infty \left(\frac{di}{dF} \right) d\lambda} \quad (16.14)$$

trong đó $\int_0^\infty \frac{\partial F}{\partial \lambda} d\lambda$ là quang thông tổng mà bộ cảm biến nhận được và

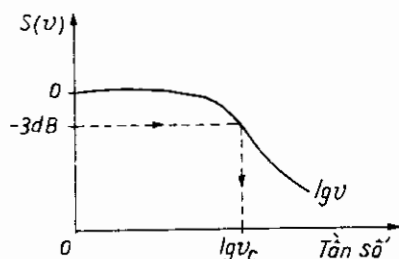
cho đáp ứng $\int_0^\infty \left(\frac{\partial i}{\partial F} \right)_\lambda \frac{\partial F}{\partial \lambda} d\lambda$

Theo tần số ta có thể biểu diễn độ nhạy của bộ cảm biến quang (hình 16.10). Từ đồ thị hình 16.10 của $S(\nu)$ ta có thể xác định hằng số thời gian của bộ cảm biến

$$\tau = \frac{1}{2} \pi \nu_c.$$

Ở đây tần số

cắt ν_c tương ứng với suy giảm độ nhạy 3 dB.



Hình 16.10. Độ nhạy theo tần số.

16.2. BỘ CẢM BIẾN NHIỆT

16.2.1. Đại cương

Các bộ cảm biến nhiệt là bộ cảm biến trong đó quang thông được biến đổi thành nhiệt nhờ hấp thụ. Do biến thiên nhiệt độ của vật liệu chịu bức xạ ánh sáng có thể suy ra các đại lượng ánh sáng. Trên hình 16.11 phần tử cảm biến nhiệt có nhiệt độ nhiệt động T và nhiệt độ môi trường T_a , sự thăng giáng trao đổi nhiệt biểu diễn theo giá trị quân phương bằng :

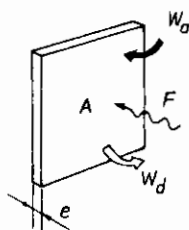
$$\overline{dU^2} = kT^2C \quad (16.15)$$

k là hằng số Boltzmann, $C = cmAe$ là nhiệt dung của bộ cảm biến. Vì $dU = CdT$ ta có :

$$\overline{dT^2} = \overline{dU^2}/C^2 = kT^2/C \quad (16.16)$$

Giả thiết độ tăng nhiệt ΔT của cảm biến chỉ phụ thuộc vào công suất hấp thụ và bức xạ, do đó có thể viết phương trình động năng của hệ thống :

$$\frac{dU}{dt} = C \frac{dT}{dt} = W_s + W_a - W_d \quad (16.17)$$



Hình 16.11. Phần tử cảm biến nhiệt.

Ở đây : W_s là năng lượng do tín hiệu, tương ứng với hấp thụ quang thông $W_s = \varepsilon F \approx F$, hệ số hấp thụ $\varepsilon \approx 1$ và phụ thuộc vào bước sóng. W_a là năng lượng do nhiệt độ môi trường T_a có thể tính bằng :

$$W_a = F_a = A\sigma T_a^4 \quad (16.18)$$

trong đó σ là hằng số Stefan.

W_d là năng lượng bức xạ do bộ cảm biến ở nhiệt độ T được tính bằng :

$$W_d = A\sigma T^4 \quad (16.19)$$

Quy luật biến thiên nhiệt độ có dạng :

$$C \frac{dT}{dt} = F - A\sigma(T^4 - T_a^4) \quad (16.20)$$

Độ nhạy của bộ cảm biến nhiệt có dạng :

$$S_T = \frac{\Delta T}{F} = \frac{1}{4A\sigma T^3} = \frac{1}{K} \quad (16.21)$$

Hằng số thời gian nhiệt của bộ cảm biến :

$$\tau = \frac{C}{K} = \frac{mC_Ae}{4A\sigma T^3} = \frac{mce}{4\sigma T^3} \quad (16.22)$$

Tỷ số tín hiệu trên nhiễu :

$$\frac{W_s}{W_b} = \frac{(S_F F)^2}{\frac{4KT^2}{K} \Delta\nu} \quad (16.23)$$

Độ cảm biến

$$D = \frac{1}{NET} = \frac{1}{4\sqrt{Ak\sigma T^5 \Delta\nu}} \quad (16.24)$$

$$D^* = \frac{1}{4\sqrt{k\sigma T^5}} \quad (\text{tính bằng } W^{-1}.cm.Hz^{1/2})$$

với $k = 1,38.10^{-23} J.K^{-1}$

$$\sigma = 5,67.10^{-12} W.cm^{-2}K^{-4}$$

Độ cảm biến riêng của bộ cảm biến nhiệt lý tưởng chỉ phụ thuộc vào nhiệt độ. Ví dụ $T = 300 K$, $D^* = 1,81.10^{10} W^{-1}.cm.Hz^{1/2}$.

16.2.2. Các bộ cảm biến nhiệt kinh điển

- Điện trở nhiệt (xem 4.4)
- Cảm biến hóa điện (xem 4.7)
- Cảm biến nhiệt ngẫu (xem 4.5)

16.2.3. Bộ cảm biến nhiệt thể hệ mới

Các bộ cảm biến nhiệt có thể được phân làm hai loại, tùy theo tính chất sử dụng để duy trì cân bằng nhiệt động, đó là bộ cảm biến phản kháng và bộ cảm biến tiêu tán.

Trong bộ cảm biến nhiệt phản kháng ở trạng thái cân bằng nhiệt năng lượng của chúng phụ thuộc nhiệt độ T , vào phân cực điện P , vào từ hóa B và biến dạng cơ X .

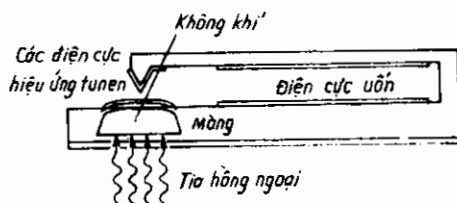
Mọi biến thiên của nhiệt độ T dẫn tới biến thiên kích thước dX (dãn nở nhiệt) và tùy từng trường hợp dẫn tới biến thiên phân cực điện dP (hiệu ứng hóa điện) hoặc từ hóa dB (hiệu ứng từ nhiệt).

1. Bộ cảm biến khí nén

Bộ cảm biến này sử dụng sự giãn nở nhiệt làm nhiệt kế, khai thác sự giãn nở của khí hấp thụ tia hồng ngoại. Việc đo khí giãn nở nói chung được thực hiện bằng biến dạng của màng bao quanh hộp kín. Biến dạng này có thể được đo bằng nhiều xạ quang học (màng Golay) hoặc bằng phương pháp tĩnh điện, trong đó màng là một bản cực của tụ điện (phương pháp Luft).

Các bộ cảm biến này được phát triển từ những năm 50, để chế tạo phổ kế hồng ngoại xa nhưng ngày nay ít gặp trong thực tế.

Hình 16.16 trình bày bộ cảm biến nhiệt khí nén hiệu ứng tunen. Khe chứa không khí có thể tích $0,1 \text{ cm}^2 \times 150 \text{ }\mu\text{m}$, phía ngoài là màng mỏng silic trong suốt với tia hồng ngoại và mặt kia là màng SiO_2 dày $0,5 \text{ }\mu\text{m}$ phủ lớp vàng mỏng dày 10 nm hấp thụ tia hồng ngoại. Tia hồng ngoại làm tăng nhiệt độ màng, truyền nhiệt độ cho khí làm khí bị giãn nở và gây biến dạng màng. Ở giữa màng biến dạng có thể tới $1 \text{ }\mu\text{m/K}$.

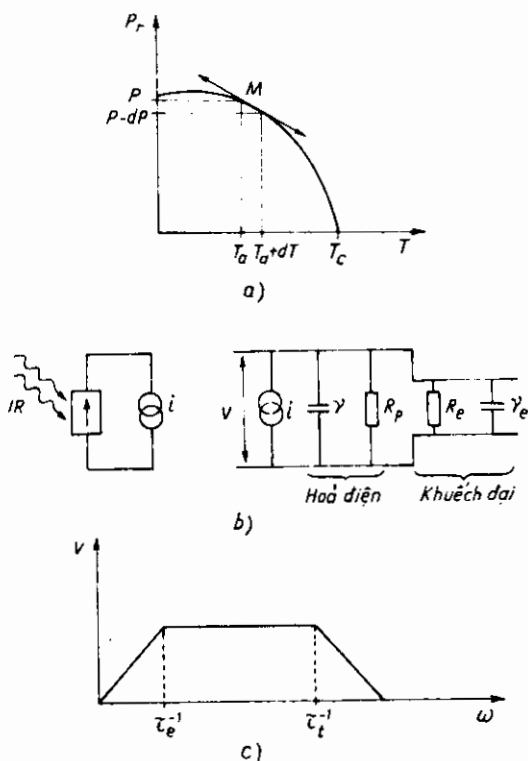


Hình 16.16. Bộ cảm biến khí nén hiệu ứng tunen.

Di chuyển này được đo bằng hiệu ứng tunen giữa màng và một điểm, làm lệch đầu dò sao cho duy trì dòng điện không đổi.

2. Bộ cảm biến hóa điện

Một số điện môi có phân cực điện vĩnh cửu, có thể định hướng ngược với điện trường và theo chu kỳ trễ giống như vật liệu sắt từ vì vậy đôi khi còn gọi là vật liệu sắt điện (ferroelectric). Tính chất phân cực điện thể hiện ở dưới nhiệt độ Curie T_c , từ đó phân cực điện biến mất. Sự phân cực điện tỷ lệ nghịch với nhiệt độ, do đó điện tích trên đơn vị bề mặt, nghĩa là dòng điện chuyển dịch đo được tỷ lệ nghịch với nhiệt độ, vì thế ta gọi hiệu ứng này là hiệu ứng hóa điện. Bộ cảm biến hóa điện chỉ nhạy với biến thiên nhiệt độ mà không nhạy với nhiệt độ vì điện trở suất của nó rất lớn.



Hình 16.17. Bộ cảm biến hóa điện.

Gọi $\Pi = \frac{dP_r}{dT}$, $P_r = \frac{Q}{S}$ là mật độ điện tích bề mặt, với

$T = T_0 + \Delta T (1 + \sin \omega t)$ ta có $\frac{dT}{dt} = \omega \Delta T \cos \omega t$ và dòng điện tần số ω là: $i = S \Pi \omega \Delta T \cos \omega t$.

Dòng điện xuất hiện giữa các điện cực tổng trở Z của bộ cảm biến hóa điện hình thành bởi điện dung γ song song với điện trở R_p gây ra tổn hao điện môi:

$$\tan \delta = 1/R_p \gamma \omega$$

$$Z = \frac{1}{j \gamma \omega} \left[\frac{1}{1 + j \tan \delta} \right] \quad (16.25)$$

Điện áp tạo nên là : $V = Zi$

Vì R_p chứa điện trở đặc trưng cho điện trở một chiều của chất điện môi, do đó $\omega \rightarrow 0$, $\tan \delta \rightarrow \infty$ và $V \rightarrow 0$. Trong thực tế điện trở vào của bộ khuếch đại R_c không phải vô cùng, ta tính được tần số cắt dưới của điện áp :

$$\omega_{v \min} = 1/\tau_c$$

τ_c là hằng số thời gian.

Trường hợp riêng phân cực tạo nên bởi điện trường không đổi E_a , đó là sự phụ thuộc của hằng số điện môi tương đối theo nhiệt độ, dẫn tới hiệu ứng hỏa điện cảm ứng. Trong cả hai trường hợp trên ta có :

$$P = P_r + \epsilon_0(\epsilon_r - 1)E_a$$

$$\frac{dP}{dT} = \frac{dP_r}{dT} + \epsilon_0 \frac{d\epsilon_r}{dT} E_a \quad (16.26)$$

ở đây ϵ_0 là hằng số điện môi của chân không.

Hiệu ứng hỏa điện tồn tại ở nhiều loại vật liệu ở nhiệt độ từ vài K đến 1500 K, vật liệu có thể là khoáng chất hoặc chất hữu cơ. Hình ảnh nhiệt của hiệu ứng hỏa điện được biết đến từ 1960, chủ yếu do Thomson-CSF, GEC và Liên Xô cũ chế tạo có độ nhạy trung bình 0,5 đến 1K (trong khi hình ảnh nhiệt lượng tử có chất lượng cao hơn 10 lần).

3. Bộ cảm biến khúc xạ nhiệt

Trong loại cảm biến này hệ số khúc xạ phụ thuộc vào nhiệt độ, do đó có thể biến đổi hình ảnh hồng ngoại thành ánh sáng nhìn thấy. Thực chất của bộ cảm biến này là sự thay đổi màu của cảm biến phụ thuộc vào nhiệt độ.

4. Các bộ cảm biến nhiệt tiêu tán

Các bộ cảm biến loại này gọi là tiêu tán bởi vì nhiệt lượng do dòng điện dẫn gây tổn hao trong điện trở vật dẫn. Trong loại cảm biến này có cặp nhiệt, trong đó mỗi hàn nóng được tia hồng ngoại chiếu vào, nhiệt điện trở có điện trở thay đổi theo tia hồng ngoại chiếu vào.

16.3. VẬT LIỆU SỬ DỤNG TRONG HÌNH ẢNH NHIỆT

16.3.1. Vật liệu hóa điện

Các vật liệu khoáng chất (đơn và đa tinh thể), vật liệu hữu cơ có thể hiện tính chất hóa điện nghĩa là phân cực điện phụ thuộc vào nhiệt độ.

- *Họ TGS* thường được sử dụng trong ống nhôm (Pyricon) gồm màng mỏng 30 μm phủ lên mục tiêu, có nhiệt độ tương đương nhiều 0,2 K. Với tần số không gian 10 đôi dòng trên cm , và 1 K với 40 đôi dòng trên cm . Lớp mỏng đa tinh thể họ TGS nhận được bằng cách bay hơi dung dịch trên ống, tương tự công nghệ chế tạo chất bán dẫn.

- *Họ oxyt đơn tinh thể*

Li Ta O_3 , $(\text{Sr}, \text{Ba}) \text{Nb}_2\text{O}_3$ và $\text{Pb}_5\text{Ge}_3\text{O}_{11}$ trở nên quen thuộc dưới dạng đơn tinh thể và khó thực hiện dưới dạng màng mỏng đa tinh thể định hướng, trục phân cực có xu hướng nằm trong mặt phẳng màng mà không vuông góc như yêu cầu. Vì thế có thể nhận được màng mỏng bằng dát mỏng cơ học.

- *Đa tinh thể họ PZT*

Các oxyt thuộc loại này gồm nhiều chủng loại có tính chất áp điện và hóa điện. Nhiệt độ Curie của PbTiO_2 , PbZrO_3 là 480°C và 220°C . Nhiệt độ Curie của PZT ($\text{Pb Zn}_x\text{Ti}_{1-x}\text{O}_3$) là hàm tuyến tính của x giữa hai giá trị cực trị.

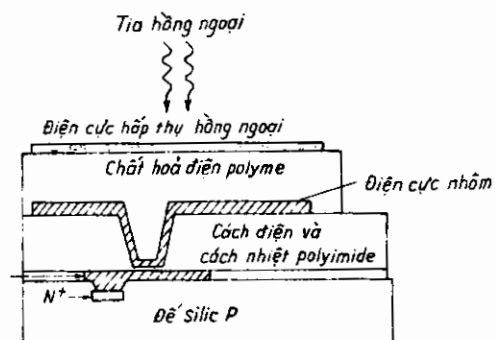
Các vật liệu tạo nên màng mỏng được dát mỏng cơ học. Tính năng tốt nhất có thể đạt nhiệt độ tương đương nhiều là $\leq 0,1 \text{ K}$ với kích thước điểm sáng $100 \times 100 \mu\text{m}^2$ và ma trận 260×340 phần tử cách nhau 50 μm .

- *Polyme hóa điện*

Các polyme này có hệ số hóa điện yếu và tổn hao điện môi cao do đó không tạo nên hình ảnh nhiệt tốt nhưng dễ gia công thành màng mỏng.

Bảng 16.1 cho đặc tính của một số chất khoáng hóa điện. Bảng 16.2 cho đặc tính của vật liệu hóa điện cảm ứng.

Hình 16.17 trình bày mặt cắt bộ cảm biến hồng ngoại màng mỏng sát điện



Hình 16.17. Bộ cảm biến hồng ngoại polyme hóa điện.

Bảng 16.1.

Đặc tính của các khoáng chất hóa điện

Chất hòa điện	H 10^{-8} $C.cm^{-2} K^{-1}$	$\epsilon_r \tan \delta$ 1 kHz	ρ Ωcm	C_v $J.cm^{-3} K^{-1}$	$K \cdot 10^{-3}$ $cm^2.s^{-1}$	T_o $^{\circ}C$	Quá trình tạo màng mỏng
TGFB	7	50	$\approx 2 \times 10^{11}$	2,5	2,7	73	Dát mỏng hoặc bay hơi trong dung dịch nước
DTGS	5,4	43	$\approx 2 \times 10^{11}$	2,4	2,9	61	
TGS	6	55	$\approx 2 \times 10^{11}$	2,6	2,8	49	
LiTaO ₃	2,3	54	10^{10}	3,2	13	618	Dát mỏng
Sr _{0,5} Ba _{0,5} Nb ₂ O ₅	6,5	380	10^7	2,1	6,4	121	
Pb ₅ Ge ₃ O ₁₁	1,1	45	5×10^7	2	3	178	
Pb _{4,7} Ba _{0,3} Ge ₃ O ₁₁	3,1	81	5×10^9	2	3	70	
PZFN	3,8	240	2×10^7	2,5	12	250	Dát mỏng phun xa
PBZT	3,1	235	10^9	2,5	12	250	
PLZT (8/65/35)	17	3800	10^7	2,5	12	120	
PVF2	0,3	10	10^{11}	2,8	0,5	> 100	Bay hơi dung dịch
P(VF _{2,0,7} -TrFE _{0,3})	0,4	8	10^{10}	2,8	0,5	70	
TGFB : floubéryllate de triglycine			PBZT : (Pb _{0,95} Bi _{0,05}) (Zr _{0,99} Ti _{0,01})O ₃				
DTGS : sulfate de triglycine deutéré			PLZT : (Pb _{0,92} La _{0,08}) (Zr _{0,65} Ti _{0,35})O ₃				
TGS : sulfate de triglycine			PVF2 : polymère CH ₂ -CF ₂				
PZFN : PbSr _{0,3} + 0,05 (Pb ₂ FeNb ₂ O ₈)			T(VF _{2,0,7} -TrFE) : (CH ₂ -CF ₂) _{0,7} -(CHF-CF ₂) _{0,3}				

Đặc tính vật liệu hóa điện' cảm ứng

Cặp vật liệu		Tỷ lệ một thành phần để $T_c = 20^\circ\text{C}$
1	$\text{BaTiO}_3, T_c = 120^\circ\text{C} - \text{SiTiO}_3, T_c = 200^\circ\text{C}$	$x_{\text{Ba}} = 0,3$
2	$\text{PbTiO}_3, T_c = 480^\circ\text{C} - \text{SiTiO}_3, T_c = 200^\circ\text{C}$	$x_{\text{Pb}} = 0,35$
3	$\text{BaTiO}_3, T_c = 120^\circ\text{C} - \text{BaZrO}_3$	$x_{\text{Zr}} = 0,22$
4	$\text{BaTiO}_3, T_c = 120^\circ\text{C} - \text{BaHfO}_3$	$x_{\text{Hf}} = 0,24$
5	$\text{BaTiO}_3, T_c = 120^\circ\text{C} - \text{BaSnO}_3$	$x_{\text{Sn}} = 0,15$
6	$\text{PbTiO}_3, T_c = 480^\circ\text{C} - \text{BaZrO}_3$	$x_{(\text{BaZr})} = 0,5$
7	$\text{PbTiO}_3, T_c = 480^\circ\text{C} - \text{CaSnO}_3$	$x_{(\text{CaSn})} = 0,3$
8	$\text{PbZrO}_3 - \text{NaNbO}_3, T_c = 360^\circ\text{C}$	$x_{(\text{NaNb})} = 0,85$

16.4. BỘ CẢM BIẾN LƯỢNG TỬ

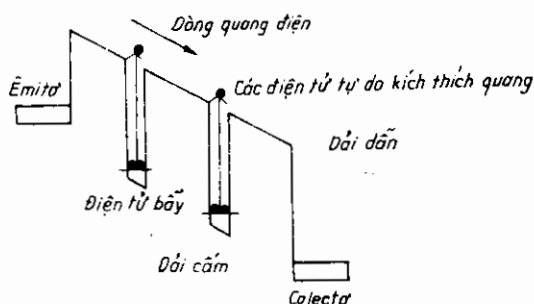
Các bộ cảm biến lượng tử là các bộ cảm biến trong đó tín hiệu đo kích thích trực tiếp các hạt bằng các photon tới. Đây là các bộ cảm biến quang điện đã mô tả kỹ trong chương 2. Sau đây mô tả một số bộ cảm biến lượng tử trong miền hồng ngoại.

16.4.1. Bộ cảm biến hồng ngoại giếng lượng tử

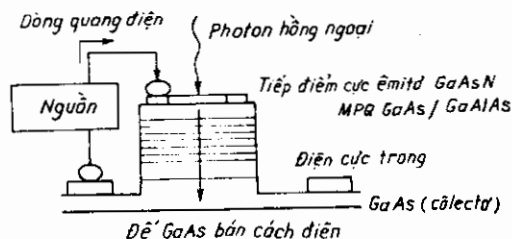
Một bộ cảm biến hồng ngoại giếng lượng tử gồm vật liệu hàng rào giếng đặt giữa hai lớp dày bằng vật liệu kích tạp cao, có các tiếp điểm tạo nên các điện cực như hình 16.18. Khi đặt vào điện áp, tạo nên độ nghiêng các dải năng lượng (hình 16.18a). Ở nhiệt độ tương đối thấp (thường ở 77 K) các điện tử nằm trong bẫy ở mức cơ bản. Khi bị chiếu sáng có khả năng chuyển trạng thái giữa các mức năng lượng hoặc tiếp tục đặc trưng do dải dẫn của vật liệu hàng rào chắn.

Các điện tử được kích thích quang tạo nên dòng điện và được phát hiện ở mạch ngoài. Cấu trúc của bộ cảm biến được cho trên hình 16.18b. Người ta đã sử dụng các cấu trúc phức tạp hơn hoặc các giếng không đối xứng để tạo nên các bộ cảm biến nhạy, hai màu làm việc ở hai dải hồng ngoại (ví dụ 5 và 10 μm). Có thể phát triển các linh kiện dưới dạng ma trận bộ cảm biến hồng ngoại, đáp ứng các tiêu chuẩn sử dụng ảnh. Các linh kiện này chủ yếu được phát triển ở Mỹ (AT & T, Rockwell, Jet Propulsion Lab, Martin - Marietta...) ở Pháp Thomson - CSF và RSRE, ở Anh.

Các ma trận cảm biến 128×128 phần tử được thực hiện và thử nghiệm trong các phòng thí nghiệm khác nhau, bao trùm phổ từ $8 - 12 \mu\text{m}$ và một số đạt tới $15 \mu\text{m}$ (Rockwell, JPL). Các ma trận bộ cảm biến hai màu dải hồng ngoại II và III đang được phát triển.



a)



b)

Hình 16.18. Bộ cảm biến giếng lượng tử.
a) Cấu trúc ; b) Phần tử bộ cảm biến MPQ.

Từ các chất bán dẫn có giếng điện thế sâu trong dải dẫn có khả năng chuyển các hiệu ứng quan sát ở $10 \mu\text{m}$ trong dải hồng ngoại II (3 đến $5 \mu\text{m}$). Trong trường hợp này sử dụng cấu trúc không đối xứng gồm GaInAs/GaInAsP/InP có nhiều ưu điểm. Việc sử dụng lưới quang khắc ghép tia tử ngoại có cấu trúc giống lượng tử nhiều lớp cho phép nhận được $D^* = 5 \cdot 10^{10} \text{ W}^{-1} \cdot \text{cm} \cdot \text{Hz}^{1/2}$ ở bước sóng $10 \mu\text{m}$, nhiệt độ 77 K . Độ nhạy trên 3A/W ở bước sóng $10 \mu\text{m}$ có thể đạt được với loại cảm biến quang điện này.

16.5. CÁC BỘ CẢM BIẾN TRUYỀN ĐIỆN TÍCH

Các bộ cảm biến lượng tử thế hệ mới gọi tắt là CCD (Charge Coupled Device) dựa trên nguyên lý sau đây : bức xạ (hoặc mọi dạng năng lượng) làm cảm ứng các điện tích trong vật liệu cảm biến bán dẫn. Các điện tích này được lưu giữ trong một phần tử cách điện tạo nên tụ điện rồi

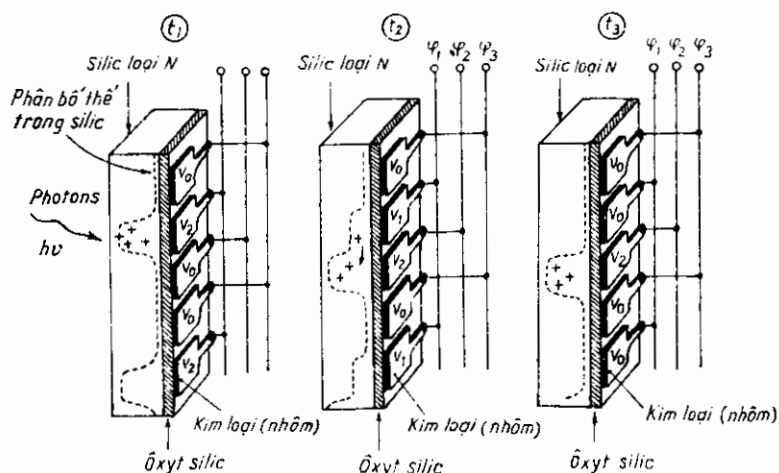
dưới tác dụng của điện trường các điện tích này được truyền sang một phần tử khác tương tự ở lân cận.

Thông tin dưới dạng điện tích chứa trong tụ điện cấu trúc được tiếp nhận ở cuối kênh truyền sau các chuyển đổi liên tiếp. Các chuyển đổi đồng thời các nội dung của mỗi tụ điện sang tụ điện lân cận được tiến hành theo điện áp ngoài đặt vào tụ điện.

Việc thu thập tất cả điện tích chứa trong lưới được tiến hành trên điện cực ra duy nhất. Thiết bị bao gồm một bộ cảm biến nhiều phần tử phối hợp với một hệ thống đọc và dẫn thông tin dưới dạng tín hiệu Video.

16.5.1. CCD ba pha

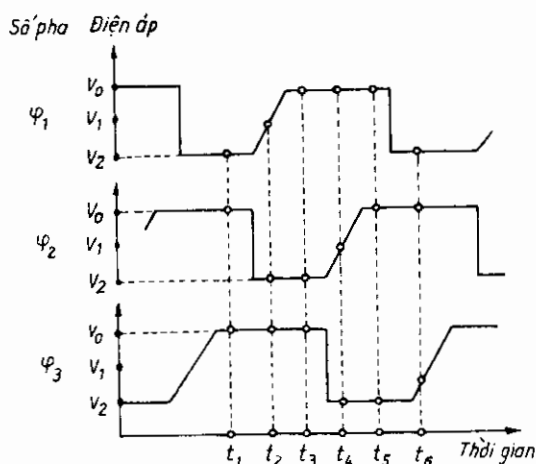
Đó là một CCD cần điện áp điều khiển do ba đồng hồ phân phối lệch nhau một phần ba chu kỳ. CCD gồm một bán dẫn (ví dụ Ge loại N), bao phủ một lớp oxyt cách điện, trên đó cố định các điện cực bằng nhôm (cấu trúc MOS = Metal Oxyde Semiconductor).



Hình 16.19. CCD ba pha.

Các điện cực được ghép từng nhóm ba ở ba pha φ_1 , φ_2 , φ_3 , mỗi nhóm được cung cấp điện áp điều khiển (hình 16.19). Việc truyền các điện tích được tiến hành giữa hai điện áp V_1 , V_2 . Điện áp thứ ba V_3 xác định chiều chuyển dịch của các điện tích và không được thực hiện theo chiều ngược lại.

Tia tới $h\nu$ làm cảm ứng các điện tích dương trong bán dẫn. Các điện tích này bị khóa ở gần điện cực có điện thế V_2 âm hơn điện thế V_0 của hai điện cực lân cận (thời gian t_1). Ở khoảng thời gian t_2 điện cực được truyền điện tích có điện thế V_2 , trong khi đó điện thế của điện cực chứa điện tích tăng đến giá trị V_1 sao cho $V_0 > V_1 > V_2$. Điều đó do ảnh hưởng chuyển dịch điện tích về điện thế V_2 âm hơn. Tiếp theo các điện tích bị khóa ở gần điện cực mới bằng điện thế V_0 đặt vào các điện cực lân cận (thời điểm t_3).



Hình 16.20. Tín hiệu điều khiển CCD ba pha.

Sau đó chu kỳ bắt đầu lại, do đó các điện tích lần lượt nhảy từ một điện cực sang điện cực tiếp theo. Các điện tích dần dần đạt tới điện cực cuối và theo một diot ra, ở đó tín hiệu video được tiếp nhận và khuếch đại.

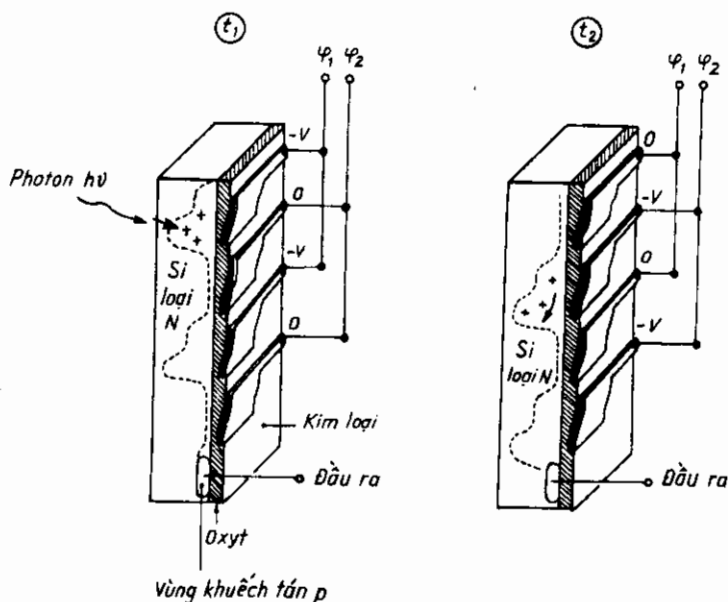
16.5.2. CCD hai pha

Để đơn giản hóa thiết bị điều khiển có khả năng tạo nên một chiều quay vòng của các điện tích nhờ cấu hình không đối xứng của các điện cực tụ điện (hình 16.21). Ví dụ bằng chiều dày oxyt thay đổi tạo nên hai mức điện thế trong bán dẫn với một điện cực tương ứng (hình 16.22).

16.5.3. Hiệu quả chuyển đổi

Về lý thuyết sơ đồ chức năng của CCD không giống với vấn đề đặt ra trong thực tế vì nhiều lý do khác nhau (ví dụ do tồn tại các bẫy giữa Si và SiO_2), một phần điện tích bị mất đi ở mỗi chuyển đổi.

Tỉ số giữa các điện tích truyền và tổng điện tích gọi là hiệu quả chuyển đổi. CCD vừa nêu ở trên có hiệu quả chuyển đổi khoảng 90% với



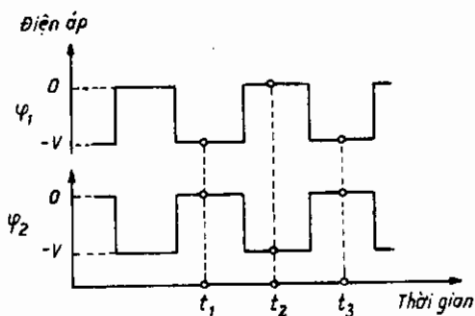
Hình 16.21. CCD hai pha.

một nghĩa chuyển đổi. Giá trị này sẽ giảm với tần số truyền ngoài 10 MHz. Kỹ thuật mới CCD kênh chôn (Burried Channel CCD) và CCD khối (Bulk CCD) làm các điện tích dễ khuếch tán, làm tăng tốc độ và hiệu quả chuyển đổi.

16.5.4. Đọc một thanh gồm nhiều bộ cảm biến bằng CCD

Thanh ghi CCD cho phép khai thác và dẫn các tín hiệu xuất phát từ các phần tử khác nhau của một hàng bộ cảm biến hồng ngoại. Việc đọc được tiến hành trong 3 giai đoạn :

- Thời gian tích phân trong đó bức xạ tạo nên một tín hiệu điện ở mức các phần tử cảm quang.
- Truyền song song tín hiệu của mỗi phần tử về CCD.



Hình 16.22. Tín hiệu điều khiển của CCD hai pha.

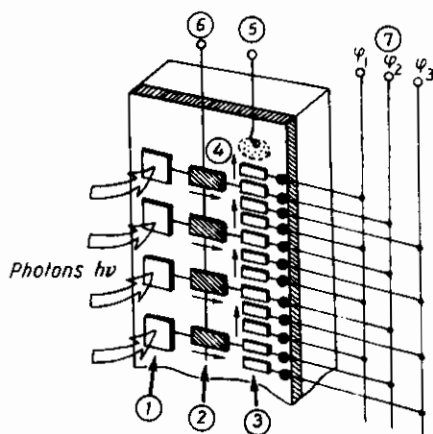
- Truyền tín hiệu dọc theo CCD đến diot đầu ra, ở đó tín hiệu video được dồn kênh (hình 16.23).

16.5.5. Tạo hình ảnh bằng ma trận CCD

Vấn đề tạo ảnh nhờ sự lưu ảnh của các phần tử CCD có thể được tiến hành theo hai cách khác nhau.

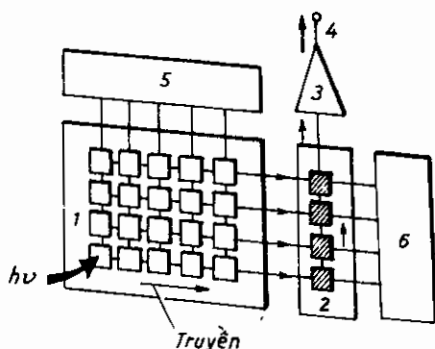
Trong trường hợp đầu tiên ma trận phần tử CCD được chiếu sáng và được đọc bằng cách truyền các điện tích cảm ứng dọc theo từng hàng về thanh ghi ra. Thanh ghi này tạo nên một cột các phần tử CCD được sử dụng bộ dồn kênh. Các điện tích của mỗi cột được truyền đồng thời về cột bên cạnh. Ở mỗi bước một cột vừa làm đầy thanh ghi ra và ngay lập tức được đọc bằng việc truyền về bộ khuếch đại video (hình 16.25). Tần số hoạt động của thiết bị rất cao do việc truyền tiến hành nhanh chóng.

Trong trường hợp thứ hai nội dung của các phần tử CCD chịu bức xạ được truyền về bộ nhớ đệm, chính bộ nhớ này được tạo bởi các phần tử CCD rồi được dồn kênh bằng thanh ghi đầu ra CCD (hình 16.25). Phương pháp này cho phép hòa hợp giữa thời gian tích phân của bức xạ ứng với một màn,



Hình 16.23. Thanh ghi CCD

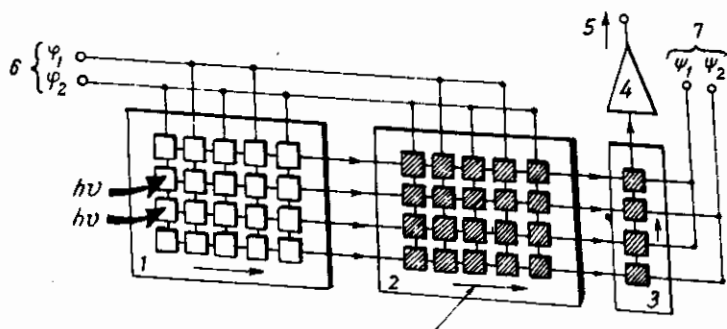
1. Cảm biến hồng ngoại; 2. Cổng truyền; 3. CCD;
4. Diot ra; 5. Tín hiệu video; 6. Điện cực điều khiển các cổng; 7. Điện cực điều khiển các pha CCD.



Hình 16.24. Hình ảnh bằng ma trận CCD

1. Bề mặt nhạy cảm; 2. Thanh ghi ra;
3. Bộ tiền khuếch đại video; 4. Tín hiệu video;
5. Đồng hồ điều khiển quá dòng; 6. Đồng hồ điều khiển quét màn.

thời gian truyền về bộ nhớ đệm rất ngắn (vài phần trăm thời gian mảng) và thời gian đọc bộ nhớ tương ứng thời gian xử lý một mảng mới, như vậy tần số làm việc giảm đi.



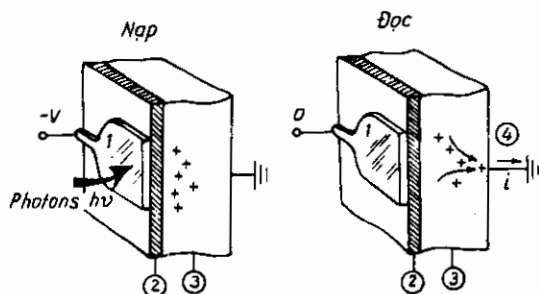
Hình 16.25. Ma trận CCD có bộ nhớ đệm.
1. Mặt nhạy sáng; 2. Bộ nhớ CCD; 3. Thanh ghi ra;
4. Bộ tiền khuếch đại video; 5. Tín hiệu video;
6. Điều khiển chuyển dòng; 7. Điều khiển chuyển cột.

16.5.6. CID

CID (Charge Injection Device) là thiết bị hoạt động dựa trên nguyên lý tương tự CCD, với một phương án trong việc phát tín hiệu video.

Trong trường hợp CID dòng điện của đế phải trích các điện tích tạo nên tín hiệu video (hình 16.26). Dòng điện

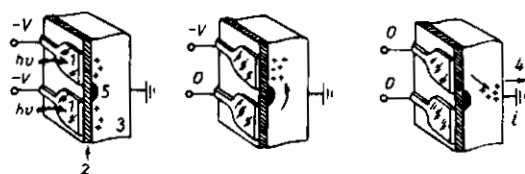
này tỷ lệ với số photon nhận được. Các thiết bị hình ảnh CID cũng như CCD cho phép đọc nhanh chóng (trong CID và truyền trong CCD) trước thời gian hình thành hình ảnh (thời gian nạp). Như vậy trong khi đọc các điện tích ít bị ảnh hưởng bởi bức xạ. Các hình ảnh CID được tạo bởi các phần tử hai điện cực trong suốt đặt trên một đế bán dẫn loại N, phân cách bởi một lớp khuếch tán loại P.



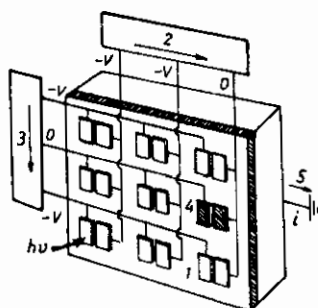
Hình 16.26. Nguyên lý CID.

1. Điện cực trong suốt (kim loại); 2. Oxyt;
3. Bán dẫn loại N; 4. Dòng điện để.

Tín hiệu video tương ứng với trích điện tích vào để chỉ có thể được khai thác bằng cách đặt điện áp bằng không trên hai cực. Tính chất này cho phép lập địa chỉ XY để đọc một phần tử bất kỳ của ma trận (hình 16.27 và 16.28).



Hình 16.27. Hoạt động của một phần tử CID.
1 2 3 4 5.



Hình 16.28. Cấu trúc phần tử CID

1. Bề mặt nhạy sáng; 2. Thanh ghi dịch phân tích;
3. Thanh ghi dịch phân tích mảng; 4. Phần tử đang đọc;
5. Tín hiệu ra.

16.5.7. Bộ cảm biến IRCCD

Các camera nhiệt ký hồng ngoại được sử dụng trong bộ cảm biến một phần tử hoặc một số cảm biến quang đọc trực tiếp. Mỗi phần tử có bộ tiền khuếch đại riêng. Các camera nhiệt sử dụng trong quân sự cần sử dụng các bộ cảm biến nhiều phần tử để nhận được độ nhạy cần thiết với chênh lệch nhiệt độ rất ít hoặc phát trong khung cảnh quan sát mà vẫn duy trì độ phân giải không gian và nhịp hình ảnh cao.

Công nghệ đọc truyền thống các cảm biến này sử dụng mỗi phần tử một bộ tiền khuếch đại, hạn chế số phần tử hàng trăm (camera hồng ngoại thế hệ đầu).

Công nghệ các bộ cảm biến hồng ngoại đọc toàn bộ sử dụng các thanh ghi để truyền điện tích cho phép khắc phục hạn chế này (camera thế hệ thứ hai). Các bộ cảm biến này gọi là IRCCD (Infrared Charge Coupled Device) có cấu trúc phức tạp một phần do các phần tử nhạy sáng, mặt khác do các thanh ghi đọc dồn kênh do trễ, đôi khi trên các

modun khuếch đại. Toàn bộ được đặt trong mặt tiêu tụ của hệ thống quang. Đôi khi chúng được làm mát bằng thiết bị siêu lạnh.

Công nghệ mặt tiêu tụ đảm bảo hai chức năng :

- Phát hiện hình ảnh,
- Dẫn các tín hiệu video.

Tập hợp các bộ cảm biến tạo nên hình ảnh điện tử. Thanh ghi dẫn kênh phát hiện các thông tin của mỗi bộ cảm biến và chuyển hình ảnh thành tín hiệu video.

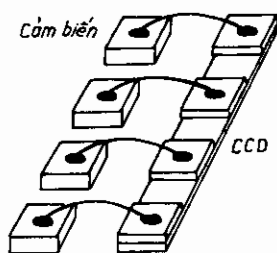
Việc thực hiện IRCCD được tiến hành theo hai phương pháp khác nhau. Khi các phần tử cảm biến và mạch đọc có cùng loại đế (nói chung bằng silic) ta gọi là công nghệ đơn tinh thể. Đặc biệt là trường hợp các bộ cảm biến CCD sử dụng trong phổ nhìn thấy và P_iS_i trong vùng hồng ngoại (Mitsubishi và David Sarnoff Research ở Mỹ). Khi các vật liệu làm đế khác nhau ta gọi là công nghệ lai. Đó là việc nối giữa các điểm của hai hình, hình đầu gồm các bộ cảm biến quang còn điểm kia là mạch đọc.

Ngày nay công nghệ lai sử dụng sử dụng các vi tiếp điểm hàn dây dẫn hoặc các tiếp điểm qua hòn bi cực nhỏ bằng In (hình 16.29 và 16.30). Phương pháp đầu tiên thích hợp với các thanh thẳng bố trí cạnh nhau. Phương pháp thứ hai thích ứng với hình ảnh hai chiều.

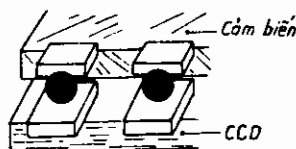
Các vật liệu tạo nên bộ cảm biến IRCCD giống như các bộ cảm biến hồng ngoại truyền thống phải thích hợp với dải phổ làm việc (PbSe, InSb, HgTeCd).

Hỗn hợp $Hg_{(1-x)}Cd_xTe$ là vật liệu có hiệu quả cao, có khả năng thực hiện các bộ cảm biến hồng ngoại IRCCD nhạy trong dải 3 đến 5 μm bằng công nghệ đơn tinh thể ($x = 0,3$) hoặc công nghệ lai, và trong dải 8 đến 12 μm ($x = 0,2$) theo công nghệ lai. Công nghệ lai cho phép thực hiện các ma trận 128 x 128 đến 512 x 512 phần tử để tạo hình ảnh nhiệt trong dải 3 đến 5 μm .

Trong dải từ 8 đến 12 μm , dòng photon từ đáy lớn hơn trong dải 3 đến 5 μm từ 10 đến 20 lần, không thể tích hợp nhiều photon trong



Hình 16.29. Tiếp điểm hàn.



Hình 16.30. Tiếp điểm bi.

chu kỳ mạnh của ánh vì điều này làm bão hòa bộ cảm biến. Như vậy các bộ cảm biến ánh 8 đến 12 μm thế hệ thứ hai được tạo nên bằng cách quét với số hàng lớn (288, 480 hoặc hơn) có ít cột (4 đến 16). Mỗi phần tử của cùng một hàng "nhìn" liên tiếp một điểm sáng cho phép tổng các tín hiệu sau tích phân trên số lượng bộ cảm biến ít. Các bộ cảm biến này được phát triển ở chế độ quang phát có ưu điểm tiêu thụ dòng không lớn, khắc phục được nhược điểm của các tế bào quang dẫn có dòng phân cực là nguyên nhân gây phát nóng theo hiệu ứng Joule được đổi chiều lúc làm mát bộ cảm biến.

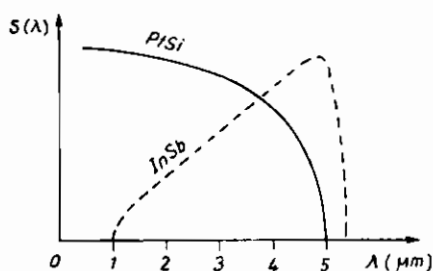
- Các phần tử cảm biến HgCdTe được phát triển với công nghệ khác nhau, được cắt từ vật liệu khối hoặc dưới dạng epitaxi.

- Antimoan Indi cho phép thực hiện bộ cảm biến quang trong dải phổ từ 3 ÷ 5 μm có độ đồng đều hơn loại HgCdTe. Việc ghép các thanh ghi đọc CCD phức tạp hơn.

Công nghệ đơn tinh thể bị hạn chế tính năng khi số lượng bộ cảm biến lớn. Công nghệ lai mặc dầu phức tạp nhưng cho phép thực hiện các bộ cảm biến 512 x 512 phần tử.

- Các bộ cảm biến Silic - Platin Schottky sử dụng một diot Schottky ngăn giữa PtSi và Si loại P. Độ nhạy phổ của vật liệu nằm trong dải giữa ánh sáng trông thấy và 5 μm với đáp ứng giảm mạnh ở dải giữa 3 và 5 μm (hình 16.31). Đặc tính này liên quan đến hiệu suất lượng tử rất thấp ($< 1\%$), do đó ít ưu việt đối với việc sử dụng bộ cảm biến thành hình ảnh nhiệt, nhưng mức tích hợp nhiều phần tử 256 x 256, hoặc 512 x 512, thậm chí 1024 x 1024 bù vào thiếu sót này.

Hiệu suất lượng tử yếu không gây bão hòa sớm thanh ghi đọc CCD, nó sẽ tác động tương đối nhanh cùng với bộ cảm biến truyền thống. Các bộ cảm biến này phải được làm lạnh ở nhiệt độ 77 K và hoạt động với bộ lọc để giảm phổ dài. Thực vậy do dải từ 1,1 đến 2,5 μm đáy của nền có cùng các đặc tính như trong miền ánh sáng nhìn thấy với ánh tương phản mạnh trên nền yếu.



Hình 16.31. So sánh đáp ứng phổ của PtSi và InSb.

16.5.8. Tính năng của các IRCCD

Độ nhạy nhiệt của các hệ thống hồng ngoại được biểu diễn bằng NETD (Noise Equivalent Temperature Difference) là :

$$\text{NETD} = \frac{4N^2\sqrt{\Delta\nu}}{\sqrt{A}T_{\text{op}}} \frac{1}{\int_{\lambda_0}^{\lambda_b} \frac{dt}{dT} \frac{dM/d\lambda}{D^*(\lambda)} d\lambda} \quad (16.17)$$

ở đây : $N = f/\Phi$ là tỷ số tiêu cự trên đường kính quang học,

$\Delta\nu$ dải thông điện tử,

A diện tích bề mặt nhạy cảm,

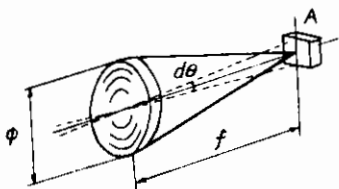
J_{op} là hệ số truyền quang học,

$\frac{d(dM/d\lambda)}{dT}$ là độ tương phản của đối tượng,

$D^*(\lambda)$ là độ cảm biến riêng tỷ lệ với $N^2/\sqrt{A}$ với $d\theta = \sqrt{A}/f$ là góc trường nguyên tố (hình 16.32).

Độ nhạy nhiệt tốt nhất nhận được đối với NETD yếu tương ứng với :

N nhỏ và đường kính quang đầu vào lớn, góc $d\theta$ lớn, D^* lớn và $\Delta\nu$ dải thông điện tử hẹp. $\Delta\nu$ phụ thuộc vào số bộ cảm biến phải phân chia thời gian phân tích. Như vậy, đối với bộ cảm biến nhiều phân tử độ nhạy nhiệt tỷ lệ với căn bậc hai của số phần tử. Khi bộ cảm biến IRCCD thời gian tích phân liên quan đến từng phân tử nhạy bị hạn chế bởi thanh ghi đọc CCD, do vậy các bộ cảm biến không sử dụng hoàn toàn tích hợp quang do nhiều phần tử tạo nên và tính năng về NETD của bộ cảm biến này tỷ lệ nhỏ hơn căn bậc hai của số phần tử. Tuy vậy số phần tử lớn trong công nghệ CCD tránh sự phức tạp của mạch điện tử. Để nhiệt độ dưới 500 K thành phần $d(dM/d\lambda)/dT$ liên quan đến độ nhạy nhiệt vì sai cao nhất ở dải từ 8 đến 12 μm . Sự dư thừa điện tử có xu hướng làm bão hòa thanh ghi IRCCD một cách nhanh chóng trong khi đó trong dải từ 3 đến 5 μm dòng quang thông có mật độ ít hơn cho phép tích hợp dài hơn ở mức CCD, dẫn đến nâng cao tính năng của bộ cảm biến IRCCD trong dải này.



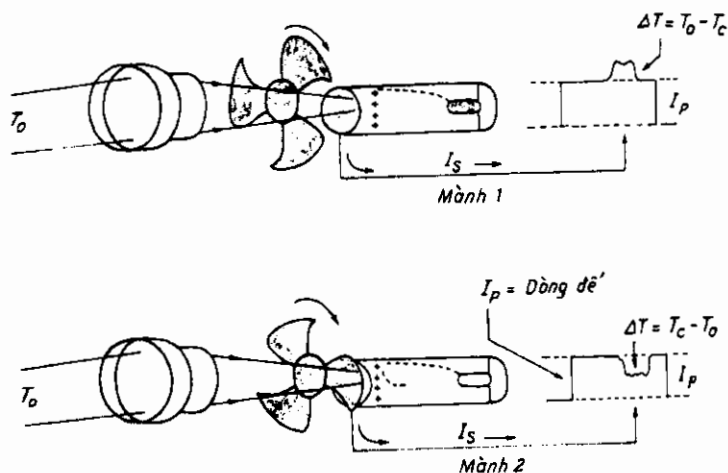
Hình 16.32. Các thông số của IRCCD.

16.6. BỘ CẢM BIẾN HÓA ĐIỆN

Các bộ cảm biến hóa điện không làm việc ở chế độ một chiều do đó cần sử dụng bộ điều biến để cắt quang thông, ở đó thể hiện chuyển động tương đối của ảnh so với bộ cảm biến.

16.6.1. Đèn hình hóa điện

Là đèn hình có cấu trúc và nguyên lý làm việc tương tự đèn hình TV Vidicon. Chùm tia điện tử do sóng điện tử phát (catot phát xạ, anot điều khiển và gia tốc) sau khi qua cuộn dây hay điện cực làm lệch quét trên màn nhạy với tia hồng ngoại nhiệt. Mặt nhạy này là một đĩa mỏng đơn tinh thể hóa điện là vật liệu có nhiệt dẫn suất rất nhỏ, phân cực tự phát theo một hướng ưu tiên. Hình ảnh hồng ngoại trên mặt vật liệu này tạo nên bằng cách hấp thụ bức xạ. Các biến thiên nhiệt độ cục bộ tạo nên sự thay đổi phân cực điện (hiệu ứng hóa điện). Hình ảnh nhiệt được chuyển thành hình ảnh điện tích. Hình ảnh điện thế sẽ bị mất đi khi tia điện tử quét bù lại các điện tích và tạo nên dòng tín hiệu video (hình 16.33).



Hình 16.33. Đèn hình hóa điện.

Hiệu ứng hóa điện tăng theo nhiệt độ của vật liệu cho đến nhiệt độ Curie, do vậy cần tăng độ nhạy, nhưng làm tăng hàng số điện môi làm giảm điện trở suất, dẫn đến giảm hiệu quả đọc điện tích. Hơn nữa ngoài nhiệt độ Curie sự hỗn độn của tinh thể do kích động nhiệt phân tử làm triệt tiêu hiệu ứng hóa điện. Cần có sự dung hòa giữa nhiệt

độ làm việc của màn nằm giữa 25 và 40°C đối với nhiệt độ Curie 49°C với TGS (Sulfate de triglycine) và 0° đến 53° đối với DTGS có nhiệt độ Curie 61°C.

Độ nhạy tốt nhất nhận được trong các miền tạo nên bề mặt nhạy cảm có các trục phân cực song song. Điều kiện này nhận được bằng cách đặt điện trường cao vào đèn.

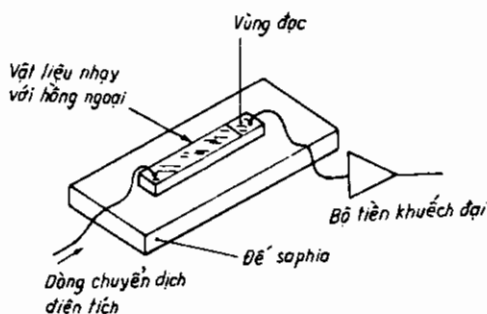
Các đèn hình hồng ngoại này có ưu điểm là làm việc ở nhiệt độ môi trường xung quanh. Độ nhạy luôn luôn thỏa mãn bởi vì thời gian tích hợp điểm ảnh tương ứng với một ảnh toàn vẹn. Đáp ứng phổ đều trong miền từ 2 đến 25 μm và bị hạn chế bằng việc truyền dẫn quang hoặc các cửa sổ sử dụng.

16.6.2. Bộ cảm biến hỏa điện

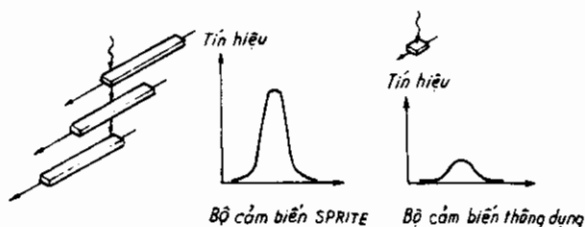
LiTaO_3 hoặc BaSrTiO không làm mát làm việc trong dải từ 8 đến 12 μm đang được phát triển để chế tạo hình ảnh nhiệt giá rẻ (ở Anh, hãng GEC Marconi).

16.7. BỘ CẢM BIẾN SPRITE

Công nghệ SPRITE (Signal Processing In the Element), nguyên lý quét nối tiếp được áp dụng vào IRCCD, nhưng cũng được sử dụng các bộ cảm biến dạng kéo dài để thay thế cho một hàng gồm phần tử (hình 16.34). Bộ cảm biến SPRITE tương đương với các bộ cảm biến nhiều phần tử nối tiếp (khoảng 10 đến 16 phần tử một sợi đốt) nhưng chỉ cần ba phần tử là đủ. Số kỹ thuật này cho phép hạn chế số đường ra của bộ làm lạnh. Hình 16.35 trình bày tính năng của SPRITE.



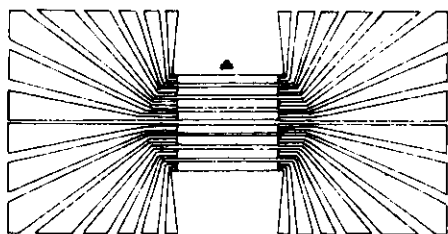
Hình 16.34. Công nghệ SPRITE.



Hình 16.35. Tính năng so sánh của SPRITE.

Hệ thống hình ảnh nhiệt sử dụng công nghệ SPRITE có bộ quét hai trục phối hợp với các bộ cảm biến có 8, 16 hoặc 20 sợi HgCdTe làm lạnh ở 195 K đối với dải 3 đến 5 μm và 77 K đối với dải từ 8 đến 13 μm (hình 16.36).

Các bộ cảm biến SPRITE đáp ứng tốt với hình ảnh nhiệt vì phân bố đều và ít nhiễu. Kỹ thuật này đặc biệt được sử dụng trong camera nhiệt quân sự nước Anh và ở Mỹ hãng Honeywell sử dụng minicamera nhiệt.



Hình 16.36. Phần tử cảm biến 8 sợi SPRITE 700 x 70 μm .

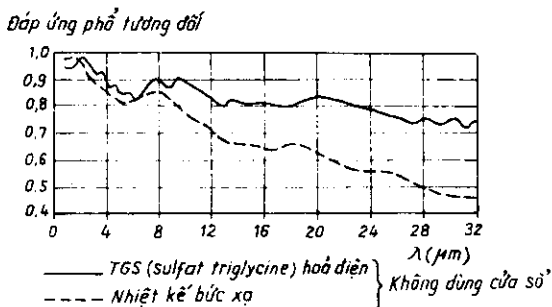
16.8. ỨNG DỤNG CỦA CẢM BIẾN HỒNG NGOẠI

Việc chọn lựa cảm biến cho một hệ thống hồng ngoại phụ thuộc vào các điều kiện hoạt động của cả hệ thống như miền phổ độ nhạy, các mức tín hiệu quang học, mức tín hiệu điện mong muốn, nhiễu cực đại cho phép, đáp ứng ở vùng tần số cao hay thấp...

Tất nhiên cảm biến là một phần của hệ thống vì vậy nó cần phải có một bề mặt tương thích với các đặc trưng quang, phải có các kích thước hình học phù hợp với các phần còn lại của cả hệ thống.

16.8.1. Miền phổ độ nhạy

Miền phổ hoạt động của bộ cảm biến phụ thuộc vào loại vật liệu cấu tạo nên các phần tử nhạy của bộ cảm biến trong các cảm biến hồng



Hình 16.37. Đáp ứng phổ nhiệt của hai loại cảm biến.

ngoại, các cảm biến nhiệt có nhiều ưu điểm là chúng có một phổ đáp ứng rộng và độ nhạy đồng đều (hình 16.37). Tuy nhiên chúng lại có độ nhạy và tốc độ thấp.

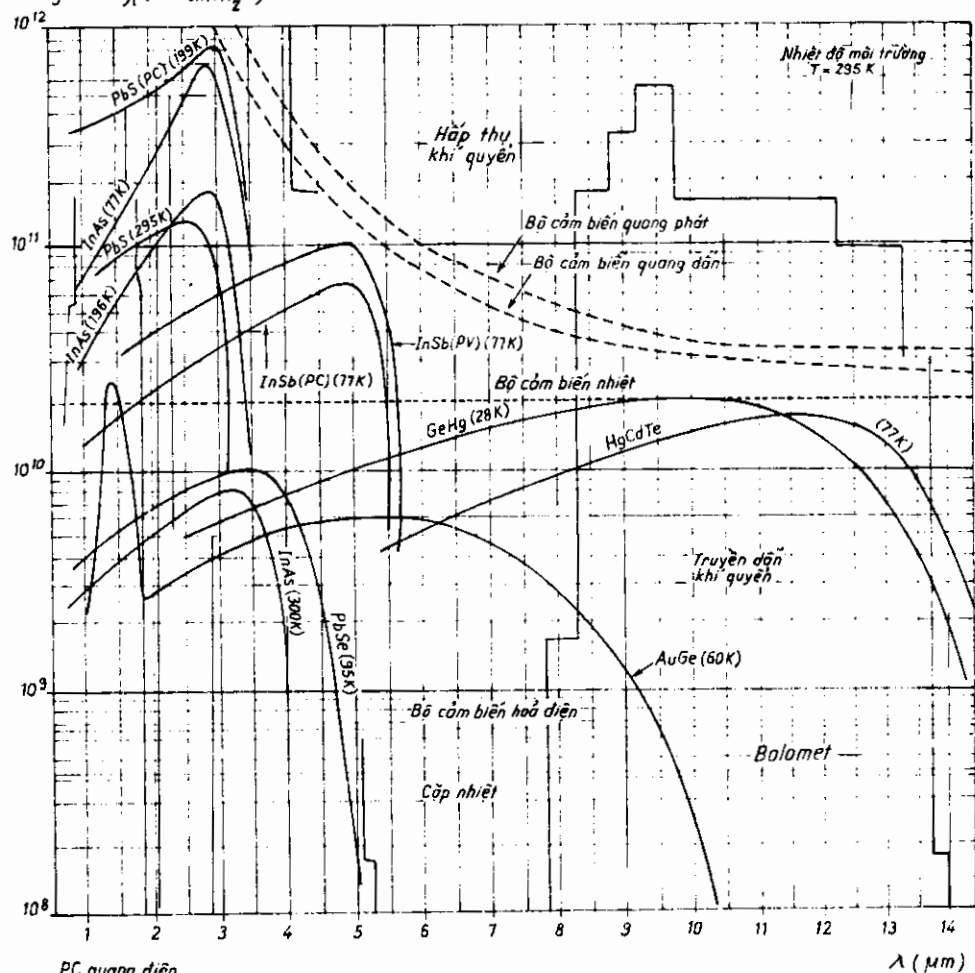
Chúng ta cũng đã thấy rằng các cảm biến lượng tử có phổ mang tính lựa chọn cao hơn. Chúng có hiệu suất độ nhạy và hiệu suất tốc độ tốt hơn. Bảng sau đây cho phép chúng ta chọn lựa các bộ cảm biến đối với các miền hồng ngoại mong muốn (hình 16.38).

- Âm cực quang S-1 từ 0,3 đến 1 μm

S-20 từ 0,3 đến 0,75 μm

S-25 từ 0,3 đến 0,95 μm

Hướng tính $D_{\lambda}^* (\text{W}^{-1} \text{cm} \cdot \text{Hz}^{1/2})$



PC quang điện
PV quang phát

Hình 16.38. Đồ thị phụ thuộc của độ nhạy vào bước sóng của bức xạ kích thích.

- Diot quang Si từ 0,5 đến 1,1 μm

Ge từ 0,8 đến 1,8 μm

PbS từ 1,3 đến 3 μm (có thể mở rộng đến 4,1 μm
bằng cách làm lạnh bên ngoài)

PbSe từ 2 đến 5 μm

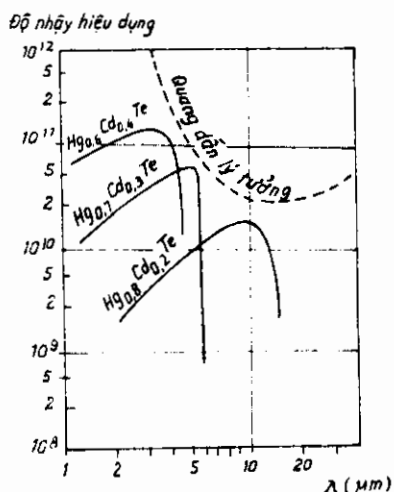
InSb từ 3 đến 5,5 μm

PtSi từ 0,4 đến 5 μm

HgCdTe từ 2 đến 14 μm

PbSnTe từ 2 đến 12 μm

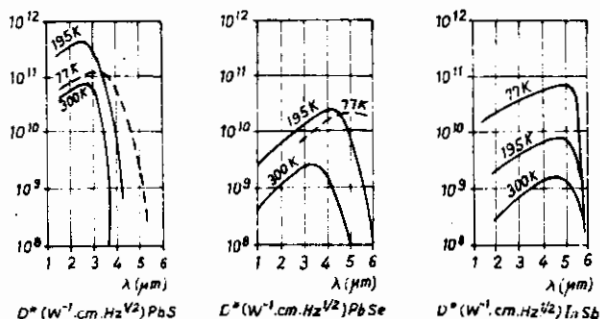
Các bộ cảm biến như $\text{Hg}_{(1-x)}\text{Cd}_x\text{Te}$ hay $\text{Pb}_{(1-x)}\text{Sn}_x\text{Te}$ đều có một cực đại của phổ độ nhạy đối với một bước sóng khi thay đổi giá trị X với Cd hay Sn và độ nhạy sẽ đạt giá trị cực đại ở 10 μm khi $x = 2$ (hình 16.39). Mặt khác, nhiệt độ làm việc của các bộ cảm biến này ảnh hưởng rất lớn đến độ nhạy của chúng và gây nên một dịch chuyển nhỏ trên phổ độ nhạy (hình 16.40).



Hình 16.39. Các cực đại của phổ độ nhạy.

Các bộ cảm biến InSb hay $\text{Hg}_{(1-x)}\text{Cd}_x\text{Te}$ nhạy trong miền từ 3 đến 5 μm khi làm lạnh ở 77 K sẽ có độ nhạy tăng lên khoảng 10 lần so với khi làm lạnh ở 195 K.

Ngược lại các bộ cảm biến PbSe có độ nhạy hầu như không thay đổi trong các điều kiện làm lạnh như đã nói ở trên, chỉ có phổ độ nhạy là dịch chuyển về hướng bước sóng dài khi làm lạnh ở 77 K.



Hình 16.40. Đồ thị phụ thuộc của độ nhạy vào nhiệt độ làm việc của bộ cảm biến.

Các bộ cảm biến họ Sulphua (PbS) có độ nhạy tốt nhất ở khoảng nhiệt độ trung bình (195 K) phát của nguồn bức xạ... Rõ ràng là khả năng phát hiện (đại lượng nghịch đảo của NEP) là đại lượng tỉ lệ thuận với chất lượng của cảm biến.

Đối với một bức xạ đơn sắc (λ) có thể khai triển $D^*(\lambda, \nu, \Delta\nu)$ và xác định được phổ độ nhạy của một cảm biến đối với một tần số điều biến ν và một giải thông điện tử cố định $\Delta\nu$ (nói chung xác định ở 1 Hz). Khả năng phát hiện thường hay được xác định ở bước sóng khi độ nhạy đạt giá trị cực đại λ_p : $D^*(\lambda_p, \nu, \Delta\nu)$.

Đối với một bức xạ của một vật đen ở OK, khả năng phát hiện được ký hiệu: $D^*(T, \nu, \Delta\nu)$

Ví dụ,

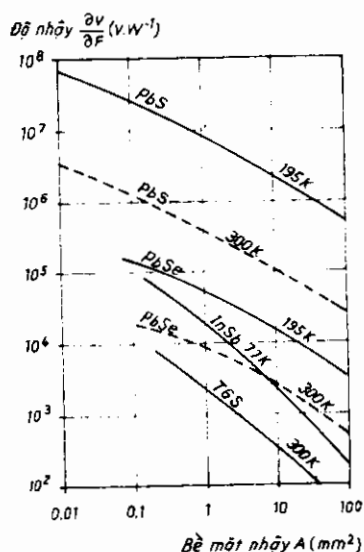
$$\text{đối với InSb: } \frac{D^*(\lambda_p, 1000, 1)}{D^*(500, 1000, 1)} \approx 5,5$$

$$\text{đối với HgCdTe: } \frac{D^*(\lambda_p, 2500, 1)}{D^*(500, 2500, 1)} \approx 2$$

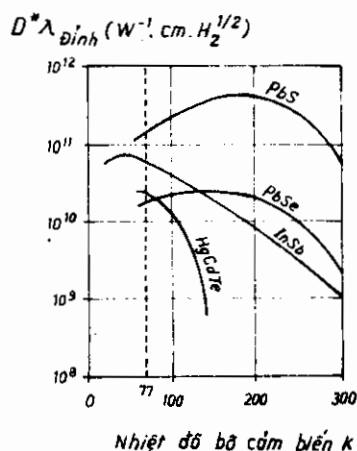
Tỉ số giữa hai đại lượng là thay đổi tùy thuộc vào vật liệu làm bộ cảm biến khả năng phát hiện của cảm biến phụ thuộc vào nhiệt độ làm việc của bộ cảm biến (hình 16.42).

16.8.2. Đáp ứng tần số

Độ nhạy của bộ cảm biến bị ảnh hưởng bởi tần số điều biến của tín hiệu quang (hình 16.43).

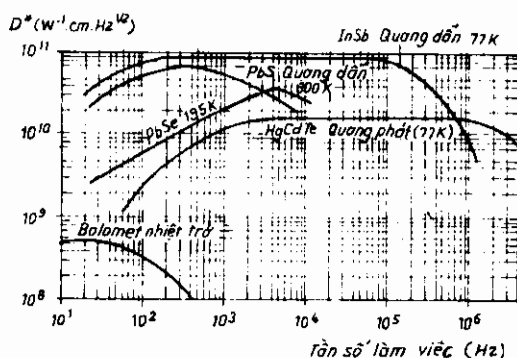


Hình 16.41. Đồ thị phụ thuộc của độ nhạy vào bề mặt nhạy.



Hình 16.42. Đồ thị phụ thuộc của độ nhạy và nhiệt độ làm việc của bộ cảm biến.

Tốc độ tác động ở tần số điều biến để phát hiện một hiện tượng quang được xác định bởi hằng số thời gian của cảm biến sử dụng.



Hình 16.43. Đồ thị phụ thuộc của độ nhạy vào tần số điều biến của bức xạ ánh sáng.

Cần nhớ rằng, cũng với mục đích này các bộ cảm biến nhiệt có tốc độ tác động rất chậm ($\tau > 10^3$ s đối với các bộ cảm biến nhiệt loại tốt nhất) trong lúc đó các cảm biến lượng tử lại có tốc độ tác động nhanh hơn nhiều :

$\tau \approx 10^{-5}$ s đối với các bộ cảm biến quang dẫn,

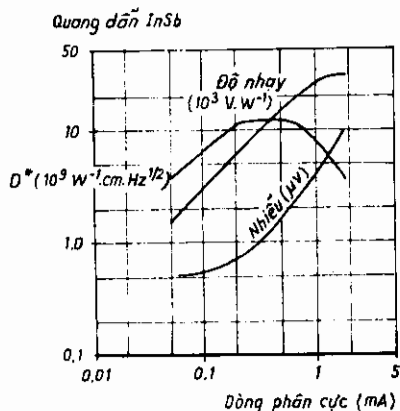
$\tau \approx 10^{-6}$ s đối với các bộ cảm biến quang điện áp.

16.8.3. Phân cực

Tín hiệu thu cũng như nhiễu phụ thuộc rất nhiều vào điều kiện phân cực của bộ cảm biến.

Ở dòng cao, nhiễu gia tăng nhanh hơn tín hiệu. Lúc này, chúng ta nhận được tỉ số tín hiệu/nhiều đi qua một cực đại đối với một dòng phân cực nào đó (hình 16.44).

Khả năng phát hiện D^* cũng có thay đổi tương tự vì đại lượng này tỷ lệ với tỷ số tín hiệu/nhiều :



Hình 16.44. Đồ thị phụ thuộc tỉ số tín hiệu/nhiều vào dòng phân cực.

$$D^* = \frac{\frac{V_S}{V_b} \sqrt{A \cdot \Delta\nu}}{F} \quad (16.28)$$

với : V_S điện áp của tín hiệu
 V_b điện áp của nhiễu
 A diện tích nhạy của bộ
 cảm biến
 $\Delta\nu$ giải thông điện tử
 F quang thông đều trên
 bộ cảm biến.

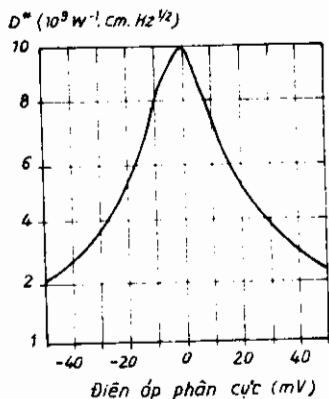
Ảnh hưởng của phân cực là rất quan trọng đối với các cảm biến quang điện áp (hình 16.45).

16.8.4. Góc trường

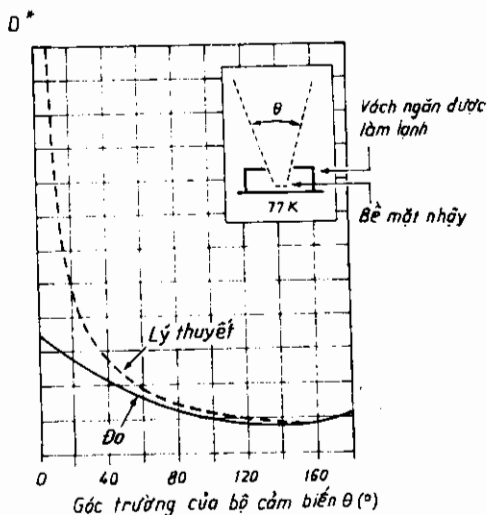
Khả năng phát hiện của bộ cảm biến càng lớn khi góc trường giảm. Sự giảm góc trường được thực hiện bằng cách điều chỉnh các vách ngăn định vị ở cạnh diện tích nhạy của cảm biến. Thông thường các vách ngăn này phải được làm lạnh rất tốt để đảm bảo không gây ra các nhiễu phụ cho cảm biến. Khi các vách ngăn này đã được cố định đúng vị trí chúng phải được làm lạnh đồng thời với bộ cảm biến (hình 16.46).

16.8.5. Thụ động hóa

Các cảm biến kiểu Hg Cd Te phải được làm lạnh ở nhiệt độ nitơ lỏng và làm việc ở khoảng phổ



Hình 16.45. Đồ thị phụ thuộc của độ nhạy hiệu dụng của một bộ cảm biến quang áp vào điện áp phân cực.



Hình 16.46. Phụ thuộc độ nhạy của cảm biến vào góc trường.

từ 8 đến 12 μm . Chúng thường được gá trong các bình Dewar.

Hiện nay loại bình này có một số dạng như sau :

- Bình Dewar kim loại
- Bình Dewar thủy tinh
- Bình Dewar nửa kim loại - nửa thủy tinh.

Tất cả các bình này đều có một cửa sổ hồng ngoại, saphia, Ge hay ZnS. Hiện nay, hầu hết các bộ cảm biến có chất lượng cao đều phải qua một công đoạn không thể thiếu đó là thụ động hóa. Công đoạn này như sau : các diện tích nhạy của bộ cảm biến Hg Cd Te được phủ một màng mỏng vật liệu (nói chung hay sử dụng màng ZnS) để chống lại các tạp chất bẩn và suy giảm của chân không khi bộ cảm biến này gá trong các bình Dewar.

Một cảm biến không trải qua công đoạn thụ động hóa sẽ không thể làm việc ở nhiệt độ cao hơn 60°C . Tuy nhiên, có những loại bộ cảm biến không cần thụ động hóa vẫn có thể làm việc ổn định; Ví dụ bộ cảm biến loại InSb nhạy trong khoảng từ 3 đến 5 μm , không cần trải qua công đoạn thụ động hóa vẫn có thể hoạt động ở nhiệt độ cao.

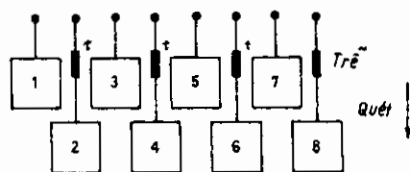
16.8.6. Cảm biến đa cấu tử

Các bộ cảm biến được sử dụng dưới dạng đơn cấu tử của các ma trận tuyến tính. Các ma trận này cấu tạo từ hàng trăm bộ cảm biến cơ bản (các cảm biến cấu tử). Các bộ cảm biến cấu tử này có kích thước trung bình khoảng vài chục μm và độ nhạy dao động trong khoảng từ 20 đến 50%. Một ma trận tuyến tính thường được cấu tạo từ các hàng chẵn và các hàng lẻ (hình 16.47).

Trong thực tế, khi số cấu tử trở nên quá lớn, người ta phải dùng đến các kỹ thuật khác và các cảm biến cấu tử khác. Ví dụ, sử dụng các linh kiện chuyển điện tích (CCD).

16.8.7. Các cách phát hiện bức xạ quang

Để phát hiện một bức xạ quang, chúng ta có thể chọn một trong hai cách phát hiện sau : Phát hiện trực tiếp và phát hiện tạo phách. Sự



Hình 16.47. Sơ đồ của một bộ cảm biến đa cấu tử.

lựa chọn này một mặt từ các đặc trưng phổ và hình dạng của tín hiệu quang, mặt khác từ các thông số của nguồn bức xạ cần phân tích.

Trong cách phát hiện trực tiếp (hay còn gọi là cách rời rạc) bằng cách hấp thụ một bộ phận các photon, cảm biến chuyển các photon này thành các điện tử và làm cho các tín hiệu điện (dòng hoặc điện áp) tỉ lệ với quang thông tới bề mặt nhạy của cảm biến. Ngoài trừ độ lớn của quang thông, không có bất kỳ một thông tin nào khác như tần số hay pha của sóng bức xạ ảnh hưởng tới tín hiệu điện ở đầu ra của cảm biến.

Ngoài cách phát hiện trực tiếp, trong nhiều năm gần đây cách phát hiện tạo phách được sử dụng hết sức rộng rãi. Cách này được sử dụng đặc biệt thuận tiện trong kỹ thuật radar và kỹ thuật siêu cao tần. Giống như cách phát hiện trực tiếp, phát hiện phách cho phép bức xạ trực tiếp đến bề mặt nhạy của cảm biến. Tuy nhiên, phát hiện phách còn cho phép xác định được tần số quang, thậm chí cả pha của bức xạ. Hiện nay, cách phát hiện trực tiếp là cách phát hiện được sử dụng phổ biến hơn cả đặc biệt khi cần phải phát hiện các bức xạ yếu. Mặt khác, đây là phương pháp đơn giản và dễ sử dụng hơn cách phát hiện tạo phách.

1. Phát hiện trực tiếp

Trong phát hiện trực tiếp, cảm biến sẽ đáp ứng đối với giá trị trung bình của bức xạ tới bề mặt nhạy của nó. Thật vậy, trong trường hợp của một bức xạ quang. Nếu F_p là giá trị tần số trung bình [s^{-1}] của bức xạ quang tới bề mặt nhạy, thì dòng ra của cảm biến sẽ được xác định như sau :

$$i = \eta e F_p \quad (16.29)$$

với η là hiệu suất chuyển đổi

e là điện tích của điện tử.

● Phát hiện đồng bộ :

Trong phát hiện trực tiếp, dòng nhiễu ở đầu ra của cảm biến xuất hiện chủ yếu do dòng tối sinh ra (nếu cảm biến của chúng ta làm việc ngoài sáng). Ngoài ra, dòng nhiễu còn có thể xuất hiện bởi các tác động nhiệt ngay trên tải của cảm biến. Để tăng hiệu suất của một cảm biến, nghĩa là tăng khả năng phát hiện của cảm biến đối với các tín hiệu yếu cần phải mắc thêm các bộ lọc đối với các đặc trưng tức thời của tín hiệu. Để thực hiện điều này, có thể điều biến tín hiệu đến cảm biến bằng cách nào đó mà chúng ta dễ dàng khống chế nhằm loại bỏ một cách tốt nhất các tín hiệu nhiễu.

Phương pháp hữu hiệu nhất để thực hiện mục đích này, đặc biệt trong điều kiện phòng thí nghiệm là khuếch đại kiểu phát hiện đồng bộ (hình 16.48).

Trong kỹ thuật này, tín hiệu quang trước khi đến cảm biến đã được điều kiện, thường là bằng một bộ điều biên cơ học (có thể là bằng một bánh răng, hoặc bằng một đĩa có đục lỗ...).

Như vậy, tín hiệu ra của cảm biến dạng $V_s = V_{os} \cos(\omega_s t + \varphi)$ đã được nhân lên bởi một tín hiệu điện so sánh V_r có tần số

D_r và biên độ V_{or} ($V_r = V_{or} \cos \omega_r t$) sao cho tín hiệu ở đầu ra sẽ là :

$$\begin{aligned} V &= V_s \cdot V_r = V_{os} V_{or} \cos(\omega_s t + \varphi) \cos \omega_r t \\ &= 0,5 V_{os} V_{or} \cos[(\omega_s + \omega_r)t + \varphi] + 0,5 V_{os} V_{or} \cos[(\omega_s - \omega_r)t + \varphi] \end{aligned}$$

Sau khi tín hiệu này chuyển rời qua bộ lọc giải thông thấp sẽ chỉ còn lại thành phần sau :

$$V = 0,5 V_{os} V_{or} \cos(\Delta \omega t + \varphi) \quad (16.30)$$

với $\Delta \omega = \omega_s - \omega_r$

Nếu tần số của tín hiệu so sánh bằng tần số của tín hiệu thì :

$$V = 0,5 V_{os} V_{or} \cos \varphi \quad (16.31)$$

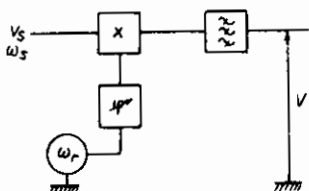
Bằng cách mắc thêm một bộ điều pha giữa nguồn tín hiệu và nguồn tín hiệu so sánh chúng ta có thể tối ưu hóa tín hiệu cuối cùng.

2. Phát hiện ngoại sai

Một hệ thống quang điện sử dụng phát hiện ngoại sai bao gồm một giao thoa kế trong đó sóng điện từ bề mặt cảm biến sẽ giao thoa với một sóng khác gọi là sóng so sánh. Quá trình phát hiện ngoại sai được mô tả trên hình 16.49.

Trong các thiết bị giao thoa kiểu cổ điển (ví dụ : kiểu Michelson) điện trường của sóng dao động địa phương có tần số D_{ol} cung cấp từ một nguồn laser được chồng chập lên điện trường của tín hiệu có tần số ν_s ở mức của cảm biến nhờ đèn phân lập LS.

Nếu bề mặt của hai sóng trên là phẳng và song song cùng với phân cực tuyến tính, điện trường tổng của quá trình chồng chập này sẽ được



Hình 16.48. Bộ cảm biến kiểu đồng bộ.

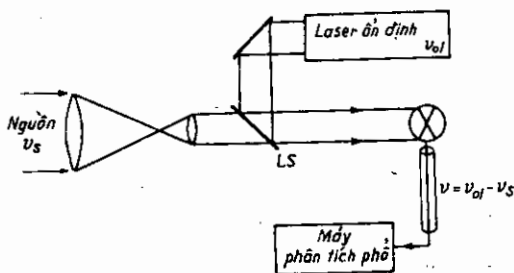
xác định trên mọi điểm của bề mặt nhạy của cảm biến bởi phương trình sau :

$$\varepsilon_T(t) = \varepsilon_{ol} \exp(2\pi j \nu_{ol} t) + \varepsilon_s \exp(2\pi j \nu_s t + \varphi_s) \quad (16.32)$$

ở đây φ_s là lệch pha tương đối của hai sóng chống chập.

• Tính toán tín hiệu điện

Theo định nghĩa của vectơ Poynting, do kết quả của sự chống chập hai điện trường, năng lượng quang thông tức thời mà cảm biến tiếp nhận sẽ được biểu diễn như sau :



Hình 16.49. Bộ cảm biến ngoại sai.

$$F(t) = (\varepsilon/\mu)^{1/2} Ad [\text{Re}\varepsilon_T(t)]^2 \quad (16.33)$$

Ở đây Re là phần thực của phức số tương ứng, Ad là Một cảm biến không nhạy với sự thay đổi của tín hiệu ở tần số quang và dòng sẽ tỉ lệ với trung bình của quang thông trong phần lớn các chu kỳ của tín hiệu quang, tức là :

$$i_T = i_{ol} + i_s + 2\sqrt{i_{ol}i_s} \cos[2\pi(\nu_{ol} - \nu_s)t + \varphi_s] \quad (16.34)$$

Như vậy, dòng cung cấp bởi cảm biến do sự pha trộn của hai sóng như trên sẽ bao gồm hai thành phần : Thành phần thứ nhất là thành phần một chiều hay âm tần tương ứng với tổng các dòng khi phát hiện trực tiếp. Các thành phần này sẽ xuất hiện ở đầu ra của cảm biến. Nếu chỉ có bức xạ dao động và tín hiệu trên cảm biến. Thành phần thứ hai và tần số của tín hiệu này gọi là tần số trung bình hay tần số cao sẽ bằng hiệu tần số của hai sóng này, $\nu_{ol} - \nu_s$.

Dòng ngoại sai này có giá trị toàn phương trung bình là :

$$(i_{het}^2) = 4i_{ol}i_s \left\{ \cos^2[2\pi(\nu_{ol} - \nu_s)t + \varphi_s] \right\} = 2i_{ol}i_s$$

Với $i_{ol} = \eta e F_{ol}/h\nu$ và $i_s = \eta e F_s/h\nu$ ở đây : $\nu = \nu_{ol} - \nu_s$ tức là

$$(i_{het}^2) = 2\eta^2 e^2 F_{ol} F_s / h^2 \nu^2 \quad (16.35)$$

• Tỉ số lí thuyết tín hiệu/nhiều

Trong thiết bị phát hiện ngoại sai cần phải có các bộ phận khử nhiễu

ở đầu ra của cảm biến nhờ dòng dao động địa phương. Thật vậy, trong trường hợp này dòng nhiễu của cả hệ thống được xác định như sau :

$$i_b^2 = 2ei_{oc}\Delta f = 2\eta e^2 F_{ol}\Delta f/h\nu$$

Với Δf độ rộng giải điện tử của tín hiệu.

Như vậy, tỉ số tín hiệu/nhiều sẽ là :

$$S/B = (i_{het}^2)/i_b^2 = \eta F_S/h\nu\Delta f \quad (16.36)$$

Rõ ràng là, tỉ số S/B không phụ thuộc vào độ lớn của dòng dao động địa phương. Trị số cực tiểu của dao động địa phương trong các điều kiện này có giá trị khoảng 1 mW.

3. So sánh hai cách phát hiện bức xạ

Chất lượng của phát hiện ngoại sai phụ thuộc vào rất nhiều yếu tố như bề mặt sóng, chất lượng quang học của cả hệ, chất lượng chống chấp sóng... Những yếu tố này phải được tuân thủ nghiêm ngặt hơn trong trường hợp sử dụng phát hiện trực tiếp. Tuy nhiên, so với phát hiện trực tiếp, phát hiện ngoại sai có một loạt các ưu điểm sau :

- Khả năng xác định các thông số phụ, đặc biệt là tới tốc độ Doppler.
- Độ nhạy cao hơn, đặc biệt trong vùng hồng ngoại.

Trong trường hợp sử dụng phát hiện ngoại sai có thể sử dụng các biểu thức quang thông tương đương nhiều, tỉ số tín hiệu/nhiều... để so sánh, sự so sánh giữa phát hiện ngoại sai và phát hiện trực tiếp có thể bị hạn chế trong trường hợp một bộ cảm biến hồng ngoại có mức nhiễu sử dụng tách trực tiếp bị giới hạn bởi i_F . Khi sử dụng tách trực tiếp, dòng tín hiệu i_S và dòng nhiễu i_b của một cảm biến sẽ được biểu diễn như sau :

$$i_S = \eta e F_S/h\nu \quad \text{và} \quad i_b^2 = 2e i_F \Delta f$$

với $i_F = \eta e F_F/h\nu$

Như vậy, tỉ số tín hiệu/nhiều sẽ là :

$$(S/B)_d = i_S^2/i_b^2 = \eta F_S^2/2h\nu\Delta f \quad (16.37)$$

Ở đây F_F là quang thông nền.

Cùng với một cảm biến tương tự, khi sử dụng cách phát hiện ngoại sai đối với cùng một tín hiệu, tỉ số tín hiệu/nhiều sẽ như sau :

$$(S/B)_{het} = \eta \cdot \eta_{het} F_S/h\nu\Delta f \quad (16.38)$$

Và tỉ số của hai đại lượng của hai trường hợp này là :

$$\frac{(S/B)_{\text{het}}}{(S/B)_{\text{đ}}} = 2\eta_{\text{het}} \frac{F_F}{F_S} \quad (16.39)$$

16.8.8. Các bộ cảm biến hồng ngoại thông dụng

- PbS nhạy trong khoảng từ 1,3 đến 3 μm và có thể mở rộng đến 4,2 μm khi được làm lạnh

$$D^*_{(\lambda_p)} = 100 \text{ (ở nhiệt độ phòng)}$$

$$D^*(500\text{K}) = 50 \text{ (ở } 195 \text{ K)}$$

- PbSe

Vật liệu quang dẫn thuần, nhanh hơn PbS ($r = 2$ đến 30 μm).

Bộ cảm biến PbSe làm lạnh ở nhiệt độ 195 K có D^* nhỏ hơn hai lần D^* của PbSb ở 77 K.

PbSe rất hay được sử dụng bằng cách ghép nối với bộ làm lạnh để có thể hoạt động ở khoảng từ 3 đến 5 μm .

$$D^*_{(\lambda_p)} = 10 \text{ (ở nhiệt độ phòng)}$$

$$D^*(500\text{K}) = 5 \text{ (ở } 195 \text{ K)}$$

- InSb

Bộ cảm biến quang dẫn làm lạnh ở 77 K. Nhạy từ 2 đến 5,5 μm .

$$\frac{D^*_{(\lambda_p)}}{D^*(500 \text{ K})} = 5 \div 6$$

$$\tau = 10 \mu\text{s} \text{ đối với InSb quang dẫn thuần}$$

$$\tau < 1 \mu\text{s} \text{ đối với InSb quang áp}$$

- HgCdTe

Bộ cảm biến quang dẫn hay quang áp. Đây là loại vật liệu bán dẫn có cực đại của phổ độ nhạy dao động trong khoảng 1 đến 50 μm . Phụ thuộc vào nồng độ Cd trong thành phần phổ độ nhạy sử dụng từ 8 đến 14 μm (cảm biến làm lạnh ở 77 K).

$$\frac{D^*_{(\lambda_p)}}{D^*(500 \text{ K})} \sim 2$$

$$\tau = 1 \mu\text{s} \text{ đối với HgCdTe quang dẫn}$$

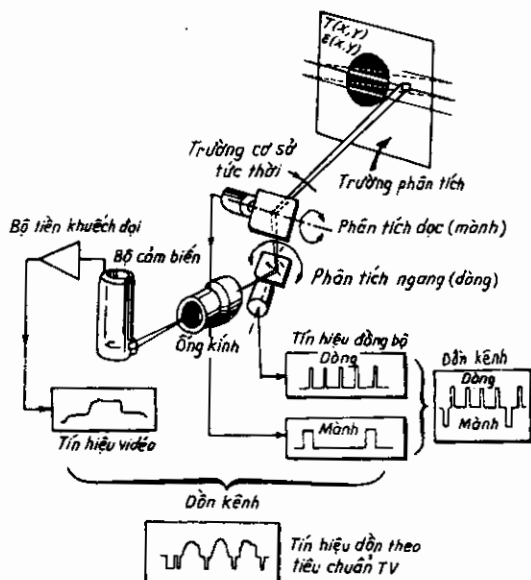
$$\tau = 10 \div 20 \text{ ns} \text{ khi có phân cực}$$

$$\tau = 3 \text{ ns} \text{ khi phân cực ngược.}$$

16.9. HÌNH ẢNH NHIỆT HỒNG NGOẠI

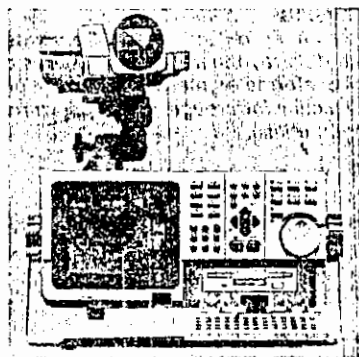
16.9.1. Đại cương

Hình ảnh nhiệt hồng ngoại là phương pháp cho phép xử lý bức xạ hồng ngoại liên quan đến phân bố không gian trên đối tượng xem xét, cũng như biến thiên của phân bố này theo thời gian. Hệ thống này có khả năng chuyển hình ảnh hồng ngoại sang ảnh nhìn thấy. Cần khôi phục hình ảnh có phân bố độ chói nhìn thấy tỷ lệ với phân bố độ chói hồng ngoại trên vật, nghĩa là phân bố không gian của nhiệt độ $T(x,y)$ hoặc độ phát xạ $\varepsilon(x,y)$ (hình 16.50).



Nói chung người ta tạo nên biến đổi này bằng cách phân tích tuần tự các điểm của đối tượng bằng trường cơ sở cố định tích S.

Trường cơ sở chọn rất nhỏ được di chuyển nhanh trên đối tượng xem xét để bao trùm toàn mặt. Sự phân bố của độ chói hồng ngoại $L(x,y)$ của đối tượng bằng cách quét mặt S cho tín hiệu $s(t)$ có biên độ thay đổi theo thời gian theo biến thiên của độ rọi (tín hiệu video).



Hình 16.50. Camera ảnh nhiệt hồng ngoại.

Sau đó tín hiệu $s(t)$ được khuếch đại trên màn hiển thị được quét đồng bộ với tín hiệu phân tích. Như vậy hình ảnh được khôi phục có độ rọi nhìn thẳng tỷ lệ với độ rọi hồng ngoại của đối tượng xem xét.

Phương pháp này dựa trên giả thiết biến thiên theo thời gian của phân bố nhiệt của đối tượng biến thiên chậm so với thời gian khai thác tổng của đối tượng này.

Tín hiệu này có thể ghi lại, hoặc quan sát bằng cách sử dụng quá trình giải mã ngược.

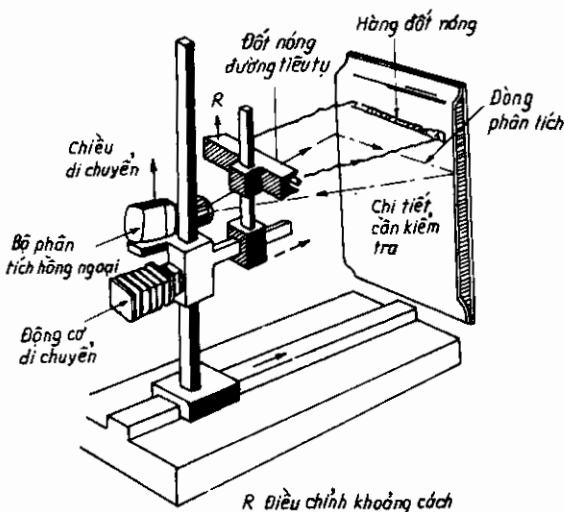
Việc sử dụng hình ảnh nhiệt trở nên đặc biệt đơn giản khi theo dõi đối tượng chuyển động đối với hệ thống phân tích. Trong trường hợp phân tích ảnh hai chiều có thể dùng một hệ thống quét duy nhất theo phương vuông góc với phương chuyển động tương đối. Hệ thống này thường được gọi là máy quét theo hàng (Line Scanner) nhờ chuyển dịch của trục quay cho phép thu được ảnh hai chiều nhờ một hàng quét.

16.9.2. Kiểm tra không phá hủy mẫu bằng hồng ngoại

Do quan hệ chặt chẽ giữa các trao đổi nhiệt của một môi trường và cấu trúc hình thái của môi trường cho phép nhanh chóng xác lập bản đồ nhiệt của vùng quan sát.

Việc kiểm tra không phá hủy mẫu đóng vai trò rất quan trọng trong kỹ thuật. Công nghệ hồng ngoại cho phép phát triển các phương pháp kiểm tra dựa trên việc phát hiện bức xạ nhiệt do đối tượng thử nghiệm phát ra, về nguyên tắc không gây trở ngại đến đối tượng.

Thực vậy bằng khảo sát hiệu ứng nhiệt trên bề mặt làm lan truyền một thông lượng nhiệt trong vật liệu ta có thể nhận được các thông tin bên trong cấu trúc.



Hình 16.51. Giá kiểm tra không phá hủy mẫu bằng tia hồng ngoại.

Nói chung việc quan sát chỉ được tiến hành ở chế độ quá độ qua đó thấy rõ tốc độ truyền nhiệt bên trong vật liệu. Ở trạng thái cân bằng nhiệt khó quan sát hiện tượng này. Hình 16.52 giới thiệu giá thử nghiệm không phá hủy mẫu bằng tia hồng ngoại. Cần tạo nên đặc tính xung đột

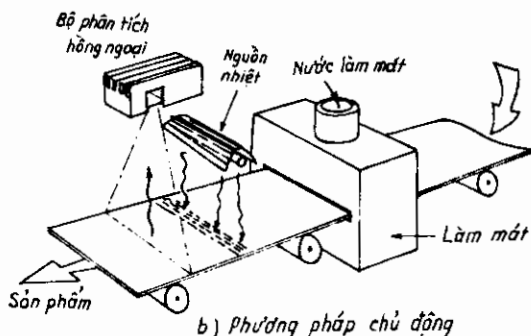
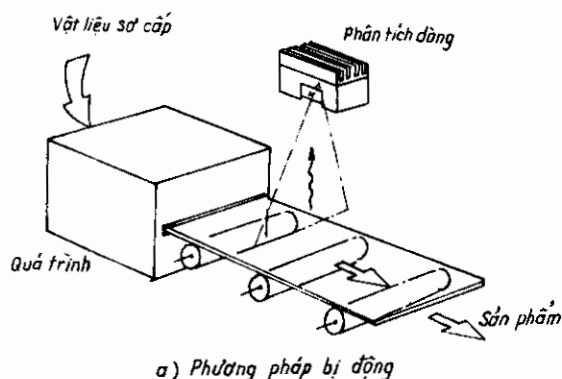
nóng chỉ tiết cần kiểm tra. Đôi khi rất khó đốt nóng một cách đồng đều các đối tượng có kích thước bề mặt lớn. Trong trường hợp này có một giải pháp là cung cấp nhiệt cục bộ có chuyển dịch tuần tự bị ngắt vào hệ thống phát hiện bức xạ như hình 16.52. Để áp dụng phương pháp này cần nhiều thông số phải tối ưu hóa là :

- Hệ số phát xạ của vật liệu cần kiểm tra phải đều và khá cao.
- Kiểu bộ cảm biến hồng ngoại sử dụng.
- Trường và độ phân giải của bộ cảm biến (thích ứng với kích thước khuyết tật cần phát hiện).
- Loại nguồn đốt nóng (laser, nguồn sáng thường...).
- Tốc độ tương đối của bộ cảm biến và đối tượng kiểm tra.
- Khoảng cách giữa nguồn và đối tượng cần kiểm tra.
- Khoảng cách giữa nguồn và bộ cảm biến hồng ngoại.
- Khả năng tự tiêu của nhiệt thông.

Việc nghiên cứu các thông số này dẫn đến việc xác định hệ thống

kiểm tra. Ở đây việc xử lý tín hiệu đóng vai trò rất quan trọng, vì nó cho phép diễn đạt đầy đủ các hiện tượng. Việc xử lý số hình ảnh nhiệt sau khi nhớ các hàng liên tiếp làm gần đúng nghiệm bài toán. Phương pháp hình ảnh nhiệt được phát triển để điều khiển sản xuất các cấu trúc composit trong kỹ thuật hàng không, kiểm tra ống dẫn dầu khí...

Đa số sản phẩm công nghiệp là kết quả của quá trình sử dụng nhiệt như công nghiệp chế biến nhựa, luyện kim, thủy tinh, xi măng, nhiệt điện...



Hình 16.52. Kiểm tra quá trình bằng hình ảnh hồng ngoại.

Chất lượng sản phẩm phụ thuộc vào quá trình nhiệt. Hình ảnh nhiệt hồng ngoại là phương pháp duy nhất phân tích nhiệt của các đối tượng chuyển động nhanh.

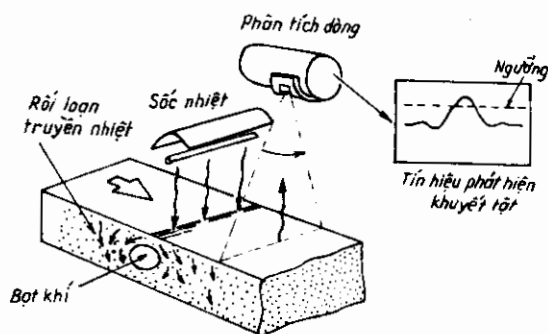
16.9.3. Các phương pháp tạo hình ảnh nhiệt trong quá trình công nghiệp

Việc giám sát một quá trình bằng hình ảnh nhiệt hồng ngoại dựa trên việc phát bức xạ của bề mặt đối tượng trong quá trình sản xuất được tiến hành theo hai phương pháp :

- Phương pháp thụ động,
- Phương pháp chủ động.

- Trong phương pháp thụ động người ta sử dụng nhiệt lượng tự nhiên do quá trình quan sát phát ra và khảo sát bằng bộ cảm biến hồng ngoại thụ động. Sự phân bố nhiệt độ theo không gian và thời gian cho biết phân bố nhiệt ở bên trong vật liệu. Khi so sánh với mô hình chính xác cho ta biết các sai lệch của thông số quá trình (hình 16.52a).

- Trong phương pháp chủ động người ta sử dụng một nguồn nhiệt (khí nóng, laser...) phối hợp với phát hiện thụ động. Phương pháp này thường sử dụng cho các sản phẩm đã nguội. Nguồn nhiệt tạo nên sốc nhiệt mạnh trên vật liệu. Bộ cảm biến của hình ảnh nhiệt phân tích sự lan truyền sóng nhiệt có điểm bất thường, thể hiện khuyết tật trong vật liệu. Ví dụ trong quá trình ép nhựa có thể xuất hiện lỗ hổng, bọt khí trong sản phẩm (hình 16.53)



Hình 16.53. Phát hiện bọt khí.

16.9.4. Các hệ thống hình ảnh nhiệt sử dụng trong điều khiển quá trình

Bộ cảm biến hình ảnh nhiệt liên quan đến quá trình công nghiệp phải hoạt động liên tục. Yêu cầu này đòi hỏi các camera hình ảnh hồng ngoại được làm mát bằng hiệu ứng nhiệt điện. Các phương pháp làm mát bằng nitơ lỏng, khí nén không thích hợp với quá trình công nghiệp. Ngoài

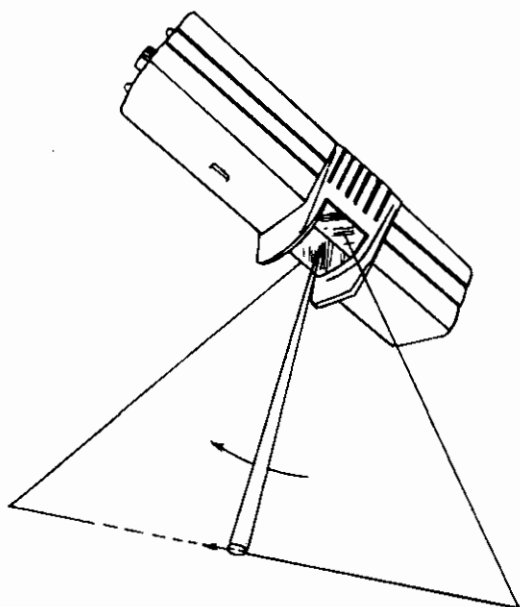
ra động cơ truyền động cơ cấu quay phải hoạt động chắc chắn, chịu được tác động của môi trường, chịu được biến thiên của nhiệt độ và giá thành phải tương ứng với hiệu quả của thiết bị công nghiệp.

Các thiết bị hình ảnh nhiệt hồng ngoại có hai loại :

- Các bộ phận tích ảnh được sử dụng khi quan sát toàn bộ đối tượng, hoặc cần thu được thông tin nhiệt bề mặt trong khoảng thời gian rất ngắn.

- Các bộ phận tích dòng (hình 16.54) đặc biệt được quan tâm khi có chuyển động tương đối giữa bộ cảm biến và sản phẩm.

- Kỹ thuật quét dòng cũng được sử dụng để theo dõi thành lò xi măng quay (hình 16.55).



Hình 16.54. Máy phân tích dòng ATL 020.

1. Hình ảnh nhiệt lò nung xi măng

Khác với hình ảnh nhiệt truyền thống cần có sự tham gia của con người, việc xử lý tín hiệu điều khiển quá trình công nghiệp hoàn toàn tự động. Nói chung đầu tiên tín hiệu được khuếch đại rồi được chuẩn hóa theo nhiệt độ quan sát. Các lò xi măng hiện đại hoạt động theo chế độ liên tục, không cho phép quan sát bên trong để bảo dưỡng thành lò. Sử dụng hình ảnh nhiệt hồng ngoại nhằm đánh giá quá trình nhiệt trong lò, chỉ một hư hỏng của một viên gạch chịu lửa có thể làm sụt thành lò, khi đó vỏ kim loại của lò có nhiệt độ rất cao từ 1200 đến 1300°C làm biến dạng cấu trúc lò và ở trực.

Việc phát hiện những bất thường về nhiệt trong lò xi măng cho ta chỉ dẫn cần thiết để bảo dưỡng lò, ngoài ra còn cho phép quản lý và vận hành tối ưu với chỉ tiêu năng lượng thấp nhất. Máy phân tích hồng ngoại theo dòng đặt cách lò khoảng 10 m (hình 16.55) cho ta hình ảnh nhiệt của lò trong khi đang quay. Quá trình sản xuất xi măng đòi hỏi

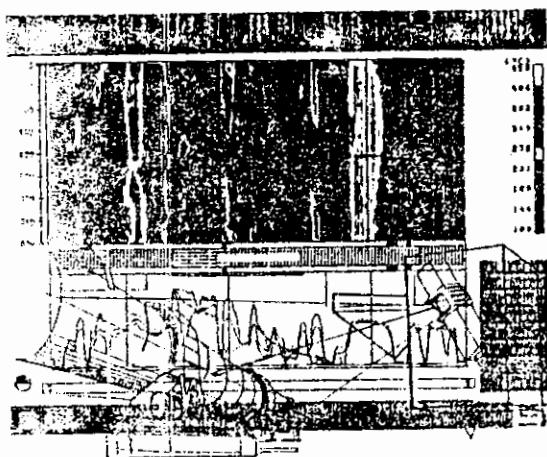
phải nâng nhiệt độ nguyên liệu tới 1400° rồi colanhke được làm nguội ở nhiệt độ môi trường. Nguyên liệu được nung trong khi đang quay và hình ảnh nhiệt được máy phân tích hồng ngoại theo dõi. Tiếp theo colanhke được làm nguội trong một tunen trên lưới gạch chịu lửa nghiêng. Hệ thống quạt thổi gió nguội qua lưới để giảm nhiệt độ colanh ke từ 1400° sau khi qua 20 m lưới xuống 200° để đi vào thùng nghiêng. Việc theo dõi nhiệt độ trong vùng làm nguội colanhke rất quan trọng vì hai lý do :

- Một là cần điều chỉnh quạt gió và chiều dày lớp colanhke để giảm thiểu điện năng và thu hồi tối đa khí nóng để sấy nguyên liệu đưa vào lò.

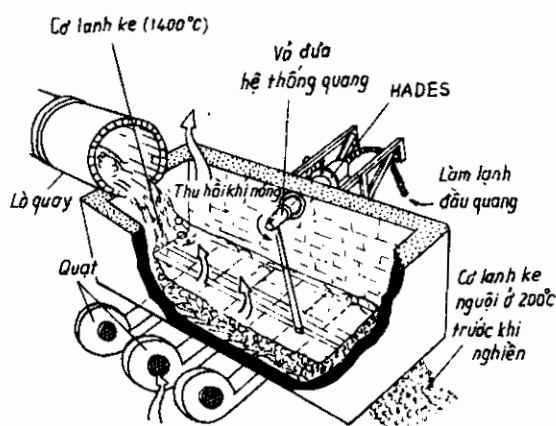
- Hai là tránh cho colanhke dừng quá lâu và quá xa trong buồng làm nguội vì colanhke còn nóng có thể làm hư hỏng lưới.

Hệ thống HADES là giải pháp tốt cho vấn đề này.

HADES là một máy hình ảnh nhiệt đo lường. Đầu quang của hệ thống (hình 16.56) dùng để tạo nên ảnh hồng ngoại của buồng làm nguội, làm việc thường xuyên ở nhiệt độ từ 1000 đến 1200°C với bước sóng gần $4\text{ }\mu\text{m}$. HADES quét hai trục với góc trường rất rộng ($180^{\circ} \times 70^{\circ}$) cho phép bao



Hình 16.55. Giám sát lò quay xi măng.



Hình 16.56. Sử dụng HADES trong buồng làm nguội colanhke.

quát toàn buồng làm nguội. Dầu quang đưa vào tận trong buồng nguội qua một lỗ 200 mm và được làm mát bằng thông gió cưỡng bức.

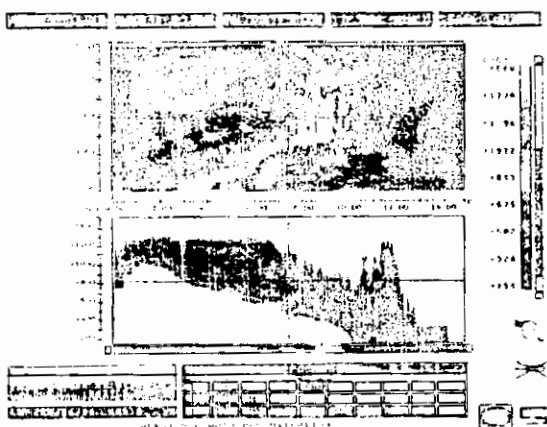
Có hệ thống an toàn kích thủy lực để lấy dầu quang và đường sợi quang truyền tín hiệu đến máy tính để xử lý và hiện thị ảnh nhiệt trong thời gian thực cũng như xác định các ngưỡng cảnh báo.

Hình 16.57 trình bày diễn biến nhiệt độ của buồng làm nguội colanhke.

2. Kiểm tra mối hàn bằng máy phân tích hồng ngoại ATL 100

Dựa trên quan niệm về sử dụng tia hồng ngoại trong quân sự máy phân tích ATL 100 có cấu trúc theo môđun, trong đó phân chia chức năng của các bộ phận, đảm bảo sử dụng một cách linh hoạt tùy theo điều kiện vận hành. Môđun quét được lựa chọn để xác định góc trường còn môđun phát hiện đảm bảo độ phân giải không gian và độ nhạy nhiệt. Công nghệ này cho phép thay đổi hay cải tiến đầu đo mà vẫn giữ nguyên cấu trúc của nó. Việc lựa chọn giải phổ tùy theo cửa sổ từ 3 đến 5,5 μm tùy theo nhiệt độ của quá trình công nghiệp (từ 50°C đến 1600°C). Đầu phát hiện được làm mát bằng hiệu ứng nhiệt điện nhiều tầng. Tín hiệu điện từ đầu quang được truyền về bộ xử lý và hiển thị kết quả. Việc nhận biết phân bố nhiệt quanh đường hàn trước và sau khi mối hàn nóng chảy cho ta thông tin hữu ích để di chuyển mỏ hàn đến vật hàn hoặc điều chỉnh thông số máy hàn như cường độ dòng điện, khoảng cách và tốc độ hàn.

Hình ảnh nhiệt của mối hàn chỉ có ý nghĩa khi so sánh với mối hàn lý tưởng, sự sai khác giữa hai hình ảnh cho tín hiệu cảnh báo và điều chỉnh cần thiết. Hình 16.58 trình bày phân bố hình ảnh nhiệt của mối hàn do ATL 100 tạo nên. Theo các thông tin tìm kiếm bộ phân tích hồng ngoại quét có thể khảo sát vùng B ngay sát phía trên vùng nóng chảy

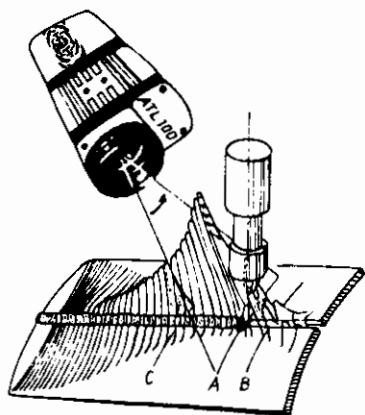


Hình 16.57. Hình ảnh nhiệt buồng làm nguội colanh ke.

để hướng dẫn đầu hàn bằng cách phân tích hai phía cần hàn, ngoài ra cũng đo nhiệt độ (vùng A). Hai mép đường hàn nóng chảy gradient nhiệt tương đối lớn cho phép biết chiều rộng của lớp kim loại nóng chảy. Tại vùng C vài *centimet* sau khi hàn, so với hình ảnh nhiệt mẫu có thể xác định được độ sâu của mối hàn. Trong điều kiện làm việc bình thường của số quang đặt cách vật hàn 250 mm, bộ cảm biến quét đường dài 25 mm, độ phân giải quang cho phép nhìn 128 điểm cơ sở mỗi điểm 0,2 mm.

3. Kiểm tra xeo giấy

Quá trình xeo giấy được thực hiện qua nhiều rulo cán trong đó bột giấy ở trạng thái nóng lặn lướt chạy qua các rulo cho đến khi đạt được chiều dày cần thiết (hình 16.59).



Hình 16.58. Hình ảnh nhiệt mối hàn.

Để chất lượng cán giấy tốt phải khống chế chính xác nhiệt độ của bột giấy. Bộ phân tích hồng ngoại theo dòng cho ta hình ảnh nhiệt của giấy, nhờ đó có thể điều chỉnh chính xác quá trình hoạt động của máy xeo giấy.

16.9.5. Các máy hình ảnh nhiệt hồng ngoại

Trên thị trường có những máy hình ảnh nhiệt hồng ngoại như sau :

ATL 100 của HGH (Pháp)

ATL 020-050 của HGH

(Pháp)

THP6 của Agema Infrared

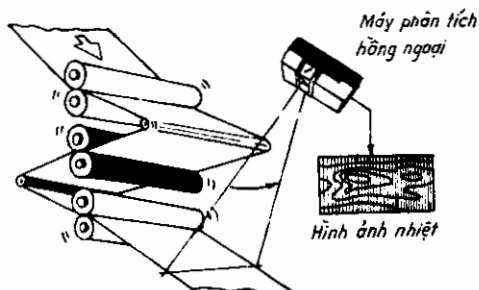
Systems (Thụy Điển)

CENTURION của

Thermoteknix (Anh)

SCAN-IR của Ircon (Mỹ)

TMP4 của Raytek (Mỹ)



Hình 16.59. Kiểm tra máy xeo giấy.

Chương 17

CẢM BIẾN THÔNG MINH

17.1. KHÁI NIỆM VỀ CẢM BIẾN THÔNG MINH

Kỹ thuật đo lường và điều khiển tự động hiện đại ngày nay có những tiến bộ vượt bậc nhờ việc sử dụng kỹ thuật vi điện tử, vi xử lý (μP) và vi điều khiển (μC). Để thực hiện được những đặc tính mới cho dụng cụ đo như : tự động, chọn thang đo, tự động xử lý thông tin đo, tự động bù sai số v. v... người ta phải sử dụng các bộ vi xử lý hay vi điều khiển kết hợp với các loại cảm biến khác nhau để tạo ra một loại cảm biến mới gọi là cảm biến thông minh (Intelligent Sensor).

Trong hệ thống thông tin đo lường và điều khiển, các loại dụng cụ đo, cảm biến làm nhiệm vụ biến đổi từ đại lượng đo thành đại lượng điện. Đây là khâu cơ bản nhất quyết định sai số của hệ thống đo hay dụng cụ đo, bởi vì, sai số của các loại cảm biến phụ thuộc chủ yếu vào nguyên lý cấu tạo của cảm biến (dựa trên các hiệu ứng vật lý) ta gọi là sai số phương pháp, ngoài ra các yếu tố khách quan như nhiệt độ, độ ẩm của môi trường, chế độ làm việc của cảm biến cũng ảnh hưởng đáng kể đến độ chính xác của dụng cụ đo và hệ thống đo. Vì vậy để nâng cao độ chính xác của phép đo, trước tiên phải cải tiến các đặc tính kỹ thuật của cảm biến. Điều này chỉ có thể thực hiện được nếu ta biết áp dụng các thành tựu của công nghệ điện tử và tin học.

Nhờ tính năng cao của mạch vi xử lý, các nhà kỹ thuật đo lường đã đưa ra được nhiều biện pháp, nhiều phương pháp đo để đa năng hóa các cảm biến, đưa ra nhiều biện pháp xử lý để nâng cao độ chính xác, khả năng thông tin, tăng độ tác động nhanh, nâng cao tính ổn định, độ tuyến tính, hạn chế đến loại bỏ các yếu tố ảnh hưởng đến độ chính xác của dụng cụ đo cũng như hệ thống đo.

Cảm biến thông minh có thể thực hiện được các chức năng mới mà các cảm biến thông thường không thực hiện được đó là :

1. Chức năng thu thập số liệu đo từ nhiều đại lượng đo khác nhau với các khoảng đo khác nhau.

2. Chức năng chương trình hóa quá trình đo, tức là đo theo một chương trình đã định sẵn, chương trình này có thể thay đổi bằng thiết bị lập trình.

3. Có thể gia công sơ bộ kết quả đo theo các thuật toán đã định sẵn và đưa ra kết quả (hiển thị trên màn hình) hoặc máy in.

4. Có thể thay đổi tọa độ bằng cách đưa thêm vào các thừa số nhân thích hợp.

5. Tiến hành tính toán đưa ra kết quả đo khi thực hiện các phép đo gián tiếp hay hợp bộ hay đo thống kê.

6. Hiệu chỉnh sai số của phép đo.

7. Bù các kết quả đo bị sai lệch do ảnh hưởng của sự biến động các thông số môi trường như : nhiệt độ, độ ẩm, v.v...

8. Điều khiển các khâu của dụng cụ đo cho phù hợp với đại lượng đo, ví dụ : tự động chọn thang đo.

9. Mã hóa tín hiệu đo.

10. Ghép nối với các thiết bị ngoại vi : màn hình, máy in, bàn phím, với các kênh liên lạc để truyền đi xa theo chu kỳ hay theo địa chỉ.

11. Có thể ghép nối với bộ nhớ, để nhớ số liệu của kết quả đo hay các giá trị tức thời của tín hiệu đo.

12. Có khả năng tự động khác độ.

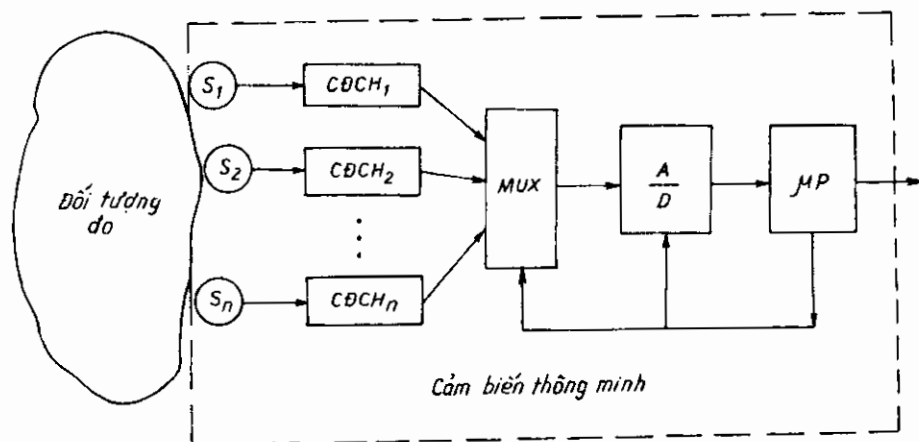
13. Sử dụng μP có thể thực hiện các phép tính như : cộng, trừ, nhân, chia, tích phân, vi phân, phép tuyến tính hóa đặc tính phi tuyến của cảm biến, điều khiển quá trình đo, điều khiển sự làm việc của các khâu khác như : chuyển đổi tương tự số (A/D) hay các bộ dồn kênh MUX (Multiplexer) v.v...

14. Sử dụng μP có khả năng phát hiện những vị trí hỏng hóc trong thiết bị đo và đưa ra thông tin về chúng nhờ cài đặt chương trình kiểm tra và chẩn đoán kỹ thuật về sự làm việc của thiết bị đo.

Rõ ràng cảm biến thông minh là sự kết hợp giữa μP với cảm biến thông thường thực sự đã tạo ra một tiến bộ vượt bậc trong kỹ thuật đo. Nó đã và sẽ đưa lại nhiều hứa hẹn trong việc nâng cao các tính năng mới hiện đại của dụng cụ đo, hệ thống thông tin đo lường và điều khiển.

17.2. CẤU TRÚC CỦA MỘT CẢM BIẾN THÔNG MINH

Ta có thể mô tả một cảm biến thông minh có sơ đồ cấu trúc sau đây (hình 17.1).



Hình 17.1. Cấu trúc một cảm biến thông minh.

Từ đối tượng đo qua các cảm biến sơ cấp S (sensor) tín hiệu điện tạo thành sau cảm biến được đưa vào các bộ chuyển đổi chuẩn hóa CDCH (transmitter) các tín hiệu này có thể là đại lượng đo hay là các đại lượng của yếu tố ảnh hưởng (ví dụ nhiệt độ môi trường chẳng hạn) dùng để loại trừ sai số do ảnh hưởng của chúng đến phép đo, các bộ chuyển đổi chuẩn hóa làm nhiệm vụ tạo ra tín hiệu chuẩn (thường là áp từ $0 \div 5\text{ V}$ hay $0 \div 10\text{ V}$) để đưa vào bộ dồn kênh MUX. Bộ dồn kênh MUX làm nhiệm vụ đưa các tín hiệu lần lượt vào chuyển đổi tương tự số (A/D) trước khi vào bộ vi xử lý (μP). Việc thực hiện một bộ cảm biến thông minh có thể tiến hành theo hai phương pháp :

1. Nếu bộ cảm biến ở đầu vào là loại cảm biến thông thường thì đầu ra của chúng được đưa vào một vi mạch công nghệ lai, bao gồm các CDCH, MUX, A/D và μP trong một khối có đầu ra qua bộ ghép nối để đưa thông tin đi xa hay vào máy tính cấp trên hay bộ ghi chương trình cho EPROM.

2. Nếu bản thân cảm biến là vi mạch (ví dụ cảm biến nhiệt độ chẳng hạn) thì cả cảm biến lẫn những thiết bị sau đều được để trong một khối công nghệ mạch lai.

Cấu trúc trên đây của cảm biến thông minh là phổ biến. Sự hoạt động của cảm biến là do μP đảm nhận như nó tổ chức sự tác động lẫn nhau giữa các khâu theo một thuật toán chọn tần số xuất hiện của tín hiệu, xác định giới hạn đo của từng kênh, tính toán sai số của phép đo v.v.. Trong quá trình hoạt động xảy ra sự trao đổi lệnh giữa các khâu thông qua một ngôn ngữ chung (thường là hợp ngữ ASSEMBLY).

Các chương trình phần mềm bảo đảm mọi hoạt động của cảm biến bao gồm :

- *Chương trình thu thập dữ liệu* : Khởi động các thiết bị như ngăn xếp, cổng thông tin nối tiếp, đọc số liệu từ cổng vào ADC, điều khiển hoạt động của MUX.

- *Chương trình biến đổi và xử lý thông tin đo* : Biến đổi các giá trị đo được thành mã BCD, mã 7 thanh, Mã ASCII, các chương trình xử lý số liệu đo.

- *Chương trình giao diện* : Đưa hiển thị ra LED hay màn hình, máy in, đọc bàn phím và xử lý chương trình bàn phím, đưa kết quả ra cổng thông tin hay truyền vào mạng, hay gửi cho máy tính cấp trên.

17.3. CÁC KHÂU CHỨC NĂNG CỦA CẢM BIẾN THÔNG MINH

Ngoài các cảm biến thông thường đã đề cập ở trên cảm biến thông minh còn bao gồm các khâu cơ bản như trong sơ đồ khối đó là : các chuyển đổi chuẩn hóa (CĐCH), Multiplexer (MUX), chuyển đổi tương tự số (A/D) và bộ vi xử lý (μP). Ta lần lượt xét các thiết bị đó.

17.3.1. Chuyển đổi chuẩn hóa

Chuyển đổi chuẩn hóa làm nhiệm vụ biến đổi tín hiệu điện sau cảm biến thành tín hiệu chuẩn thường là áp từ $0 \div 5\text{ V}$ hay $0 \div 10\text{ V}$ hoặc dòng từ $0 - 20\text{ mA}$ hay $4 - 20\text{ mA}$.

Giữa các cảm biến và chuyển đổi A/D rồi vào μP nhất thiết phải qua các CĐCH sao cho bất kể khoảng đo nào của các đại lượng đo thì cũng tương ứng với một giới hạn đo của CĐCH. Các chuyển đổi chuẩn hóa có thể phục vụ riêng cho từng cảm biến và đặt trước MUX hay cho một nhóm các cảm biến giống nhau về loại và về khoảng đo đặt sau MUX.

- Nhiệm vụ của CĐCH là biến đổi tỷ lệ. Nếu tín hiệu vào x nằm trong khoảng từ $x_1 - x_2$ thì tín hiệu ra f phải là $0 \div Y$ (hình 17.2).

Đặc tính ra của chuyển đổi chuẩn hóa thường là tuyến tính tức là

$$y = y_0 + kx \quad (17.1)$$

Thay các giá trị đầu vào và đầu ra của CDCH ta có

$$\begin{cases} 0 = y_0 + KX_1 \\ Y = y_0 + KX_2 \end{cases}$$

Giải ra ta được

$$y_0 = -Y \frac{X_1}{X_2 - X_1} ; K = \frac{Y}{X_2 - X_1}$$

Thay vào (17.1) ta có đặc tính của CDCH là

$$y = -Y \frac{X_1}{X_2 - X_1} + \frac{Y}{X_2 - X_1} x \quad (17.2)$$

là một hàm tuyến tính theo x thỏa mãn yêu cầu của một CDCH.

• CDCH có đầu ra là tín hiệu một chiều (là dòng hay áp) được thực hiện bởi hai bước :

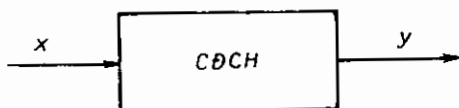
- *Bước 1* : Trừ đi giá trị ban đầu $x = X_1$, để tạo ra ở đầu ra của CDCH giá trị $y = 0$.

- *Bước 2* : Thực hiện khuếch đại ($K > 1$) hay suy giảm ($K < 1$).

Để thực hiện việc trừ đi giá trị ban đầu người ta thường sử dụng khâu tự động bù tín hiệu ở đầu vào hoặc thay đổi hệ số phản hồi của bộ khuếch đại.

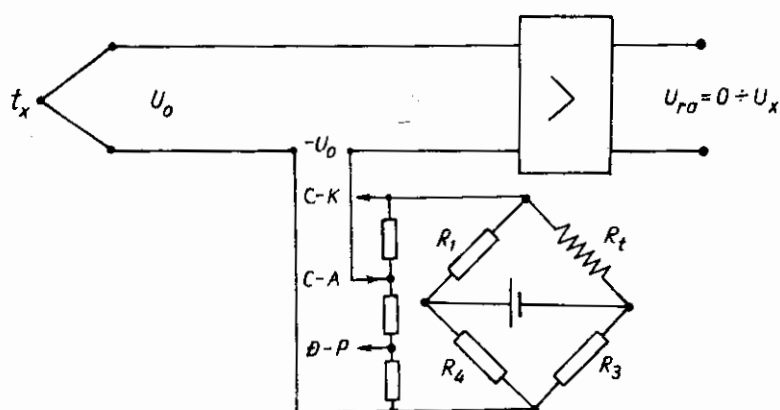
Ta lấy ví dụ sau đây sơ đồ CDCH sử dụng cặp nhiệt có đầu ra là áp một chiều (hình 17.3).

Để đo nhiệt độ ta sử dụng cảm biến cặp nhiệt. Ở nhiệt độ t_0 của môi trường ta luôn có ở đầu ra một cặp nhiệt một điện áp U_0 (tương ứng giá trị X_1 ở đầu vào CDCH) nhưng yêu cầu ở đầu ra của CDCH phải là $y = 0$. Vậy ta phải tạo được một điện áp $-U_0$ để bù lại bằng một cầu mà một nhánh bù nhiệt điện trở R_t khi nhiệt độ ở đầu tự do t_0 thay đổi, U_0 thay đổi theo, nhiệt điện trở R_t cũng thay đổi, xuất hiện điện áp $-U_0$ (ngược dấu với U_0) ở đầu ra của cầu và bù lại. Kết quả điện áp ở đầu vào khuếch đại bằng 0 khi ở nhiệt độ bình thường.



Hình 17.2. Sơ đồ nguyên lý chuyển đổi chuẩn hóa.

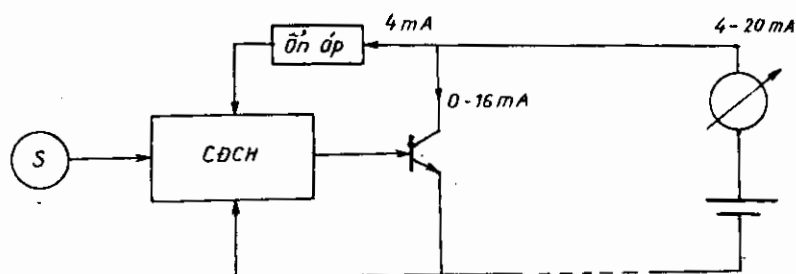
Điện áp ở đầu ra của cầu được tính toán tương ứng với các loại cặp nhiệt khác nhau (P-P, C-A, C-K).



Hình 17.3. Chuyển đổi chuẩn hóa đầu ra là áp một chiều.

Trong thực tế để truyền đi xa người ta sử dụng nguồn nên khi truyền tín hiệu dòng trên đường dây, điện trở dây có bị thay đổi cũng không gây ảnh hưởng đáng kể đến kết quả của phép đo.

Thực tế người ta hay sử dụng CDCH với dòng ra là $0 \div 20 \text{ mA}$ hay $4 - 200 \text{ mA}$. Với dòng $4 - 20 \text{ mA}$ thì 4 mA để cung cấp cho mạch điện tử còn từ $0 - 16 \text{ mA}$ là tín hiệu đo. Nguồn dòng được tạo bởi bộ biến dòng (ví dụ dùng tranzito chẳng hạn). Mọi sơ đồ như vậy được biểu diễn ở hình 17.4 được gọi là sơ đồ hai dây.



Hình 17.4. CDCH đầu ra là dòng một chiều.

Từ cảm biến qua bộ CDCH tín hiệu ở đầu ra sẽ thay đổi theo độ lớn của tín hiệu sau cảm biến ($0 \div 16 \text{ mA}$). Một nhánh qua bộ ổn áp cung cấp dòng 4 mA cho mạch điện tử vẫn để còn lại là đo dòng thay đổi từ $4 - 20 \text{ mA}$ của nguồn cung cấp.

Người ta có thể biến dòng thành áp bằng cách cho dòng rơi trên một điện trở mẫu và đo điện áp đó suy ra đại lượng cần đo.

17.3.2. Bộ dồn kênh MUX (Multiplexer)

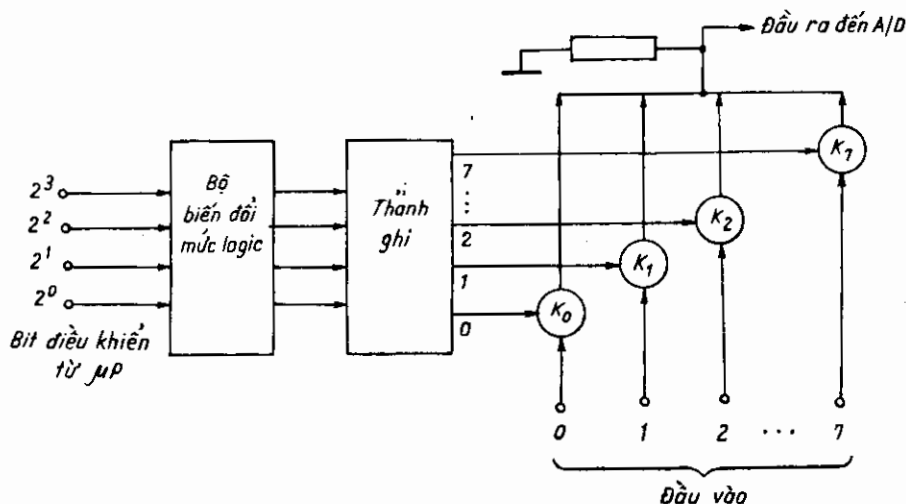
Nhiệm vụ của MUX là dồn kênh, biến tín hiệu song song từ các cảm biến thành nối tiếp để đưa vào A/D và μP . Để bảo đảm độ tác động nhanh người ta phải sử dụng các khóa điện tử, tức là thực hiện mạch đổi nối không tiếp xúc. Đổi nối này có ưu điểm độ tác động nhanh cao (tần số đổi nối có thể đạt hàng chục MHz). Tuy nhiên chúng có nhược điểm là khi đóng mạch điện trở thuận khác 0 (có thể đến hàng trăm Ω) còn khi hở mạch điện trở ngược khác ∞ (cỡ từ vài trăm $k\Omega$). Vì vậy các bộ dồn kênh thường được bố trí sau CDCH, ở đó tín hiệu đã được chuẩn hóa rồi.

- Bộ đổi nối có hai chế độ làm việc :

- Chế độ chu trình : các cảm biến sẽ lần lượt được đưa vào A/D theo một chu trình. Tần số lặp lại của tín hiệu sẽ được lựa chọn tùy thuộc sai số của phép đo cho trước.

- Chế độ địa chỉ : bộ đổi nối làm việc theo một chương trình đã định trước.

• Người ta chứng minh rằng sai số của bộ dồn kênh phụ thuộc vào số lượng kênh và sẽ tăng khi số lượng đó tăng lên. Vì vậy đối với các cảm biến thông minh người ta thường hạn chế số kênh để đảm bảo sai số cho phép.



Hình 17.5. Bộ đổi dồn kênh MUX 8 bit.

Trên hình 17.5 là sơ đồ nguyên lý của một bộ đổi nối điện tử MUX 8 bit loại CD 4051.

Các bit điều khiển từ μP được đưa đến bộ biến đổi mức logic để điều khiển Register cho ra xung đóng mở 8 khóa $K_0, K_1, \dots, K_7$ đưa tín hiệu từ tám kênh đầu vào dẫn đến một đầu ra để đưa đến bộ chuyển đổi A/D.

Ngày nay các loại MUX được sản xuất dưới dạng mạch IC rất tiện cho việc sử dụng vào thiết bị đo. Tuy nhiên như thế thường số lượng kênh vào là cố định không thay đổi được theo yêu cầu thực tế.

17.3.3. Bộ chuyển đổi tương tự số - A/D

Để đưa thông tin đo vào μP ta cần phải biến đổi tín hiệu tương tự thành số. Thiết bị thực hiện nhiệm vụ đó là mạch chuyển đổi tương tự số (A/D).

Nguyên lý là việc của A/D

Có ba phương pháp khác nhau để chế tạo một bộ chuyển đổi A/D như sau :

a. Phương pháp song song

Điện áp vào đồng thời so sánh với n điện áp chuẩn và xác định chính xác xem nó đang nằm ở giữa mức nào. Kết quả ta có một bậc của tín hiệu xấp xỉ. Phương pháp này có giá thành cao bởi vì mỗi một số ta phải cần có một bộ so sánh. Ví dụ trong phạm vi biến đổi từ 0 - 100 cần đến 100 bộ so sánh. Ưu điểm của phương pháp này là độ tác động nhanh cao.

b. Phương pháp trọng số

Việc so sánh diễn ra cho từng bit của số nhị phân. Cách so sánh như sau : thoạt tiên ta xác định xem điện áp vào có vượt điện áp chuẩn của *bit* già hay không. Nếu vượt thì kết quả có giá trị "1" và lấy điện áp vào trừ đi điện áp chuẩn. Phần dư đem so sánh với các *bit* trẻ lân cận. Rõ ràng là có bao nhiêu bit trong một số nhị phân thì cần bấy nhiêu bước so sánh và bấy nhiêu điện áp chuẩn.

c. Phương pháp số

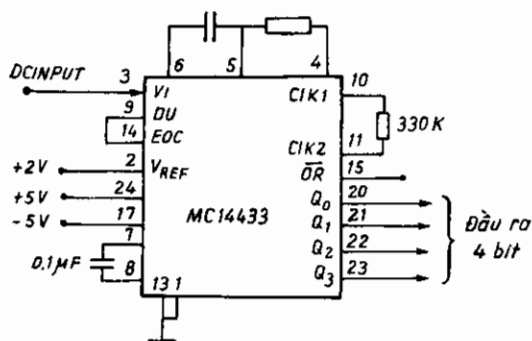
Đây là phương pháp đơn giản nhất. Ở trường hợp này ta tính đến số lượng các tổng số điện áp chuẩn của các bit trẻ dùng để diễn đạt điện áp vào. Nếu số lượng cực đại dùng để mô tả bằng n thì do đó cũng cần tối đa là n bước để nhận được kết quả. Phương pháp này đơn giản rẻ tiền nhưng chậm.

Các bộ chuyển đổi A/D trong công nghiệp rất đa dạng

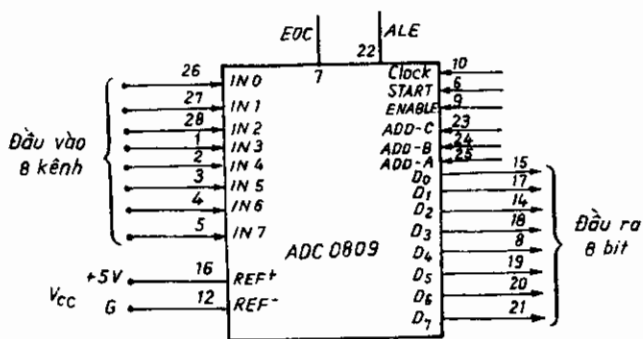
Ví dụ một bộ chuyển đổi A/D sản xuất theo công nghệ CMOS là bộ A/D của hãng MOTOROLA MC 14433 có đầu vào là điện áp một chiều DC INPUT (hình 17.6).

Loại A/D này có một đầu vào và đầu ra là số bốn bit.

Trong thực tế người ta thường chế tạo kết hợp giữa hai bộ MUX và chuyển đổi A/D và cho vào cùng một vỏ. Đại diện cho loại linh kiện này là ADC 0809. Loại A/D này có đầu vào là tám kênh một chiều ($0 \div 5\text{ V}$) và đầu ra tám bit số liệu có thể đưa lên BUS dữ liệu của μP . Sơ đồ khối của A/D 0809 được trình bày ở hình 17.8.



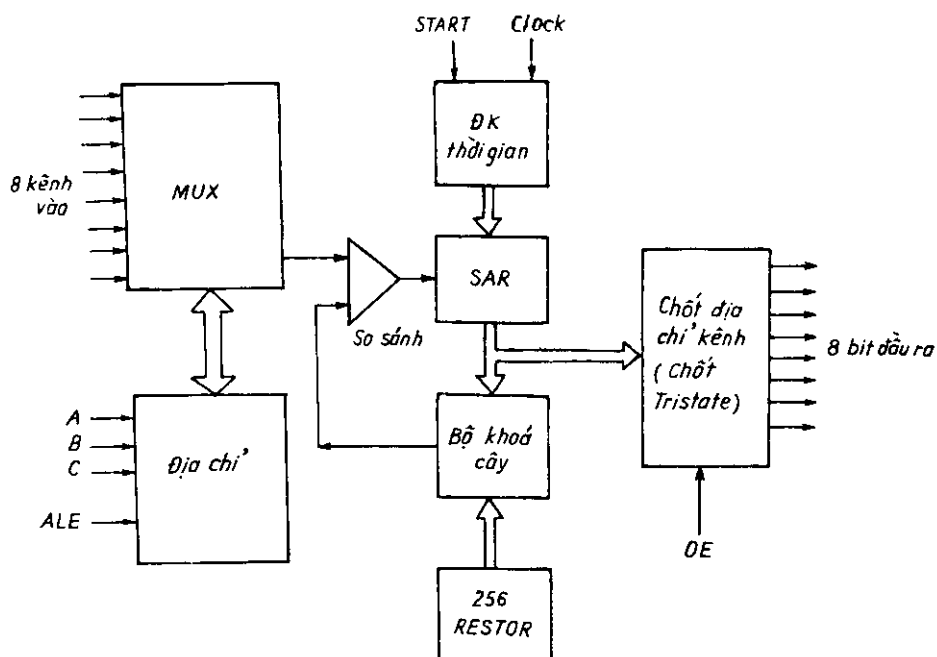
Hình 17.6. CD A/D MC 14433.



Hình 17.7. ADC 0809.

Để điều khiển hoạt động của A/D 0809 ba bit địa chỉ A,B, C được chốt và giải mã để chọn một trong tám kênh đường tín hiệu tương tự và bộ so sánh. Khi có xung START và Clock thì quá trình so sánh bắt đầu xảy ra. Điện áp vào được so sánh với điện áp do bộ khóa hình cây và bộ 256 R tạo ra. Khi quá trình biến đổi kết thúc bộ điều khiển phát

ra tín hiệu EOC (End of Converter). Số liệu được đưa ra thành ghi đệm và chốt lại. μP muốn đọc số liệu từ A/D thì phải phát ra một tín hiệu vào chân OE (output - enable) (hình 17.7) quá trình đọc được tiến hành.



Hình 17.8. Sơ đồ khối A/D 0809.

Bộ chuyển đổi A/D 0809 là một chip gói theo chuẩn 28 chân chế tạo theo công nghệ CMOS. ADC 0809 không cần có mạch bù zero phụ và mạch chỉnh full - scale. Dễ dàng ghép nối với μP hay μC vì được cung cấp chốt địa chỉ kênh và chốt TTL - TRISTATE ở đầu ra. ADC 0809 có tốc độ cao, độ chính xác cao ít phụ thuộc vào nhiệt độ, tiêu thụ công suất nhỏ.

17.4. CÁC THUẬT TOÁN XỬ LÝ CHO CẢM BIẾN THÔNG MINH

Như ta đã đề cập ở trên phương trình cơ bản của cảm biến bù $y = f(x)$. Tuy nhiên ngoài đối số x là đại lượng đo còn có một số yếu tố khác ảnh hưởng đến kết quả đo đó là các yếu tố môi trường như nhiệt độ, độ ẩm, điện từ trường, độ rung v.v... nghĩa là $y = f(x, a, b, c, \dots)$, trong đó các đại lượng a, b, c , gọi là các yếu tố ảnh hưởng mà cần phải loại trừ.

Trong các cảm biến thông minh, người ta sử dụng các khả năng tính toán của các bộ vi xử lý để nâng cao các đặc tính kỹ thuật của bộ cảm biến như nâng cao độ chính xác, loại trừ sai số phi tuyến, bù mọi ảnh hưởng của các yếu tố môi trường v.v...

Dưới đây ta sẽ đề cập đến các phép xử lý được thực hiện trong cảm biến thông minh.

17.4.1. Tự động khắc độ

Quá trình tự động khắc độ được tiến hành như sau :

Đầu tiên người ta đo các giá trị của tín hiệu chuẩn ghi vào bộ nhớ, sau đó đo các giá trị của đại lượng cần đo và bằng các công cụ toán học (dưới dạng thuật toán) có thể so sánh, gia công kết quả đo và loại trừ sai số. Công việc này có thể thực hiện cho từng cảm biến. Khi mắc cảm biến vào hệ thống, μP làm nhiệm vụ điều khiển tín hiệu chuẩn thay đổi, bộ nhớ sẽ ghi lại các giá trị ở đầu ra của cảm biến y tương ứng.

Khi đo, đại lượng đo x tác động vào cảm biến tương ứng với giá trị nào của x bộ nhớ sẽ đưa ra giá trị tương ứng của tín hiệu chuẩn đã được ghi từ trước.

Với cách đó chúng ta có thể loại được sai số phi tuyến của đặc tính của cảm biến mà dụng cụ số thông thường không thực hiện được. Phương pháp này đòi hỏi các cảm biến phải hoàn toàn giống nhau để trong trường hợp hỏng hóc cần phải thay thế sẽ không gây sai số đáng kể. Ngược lại nếu cảm biến thay thế không giống cảm biến đã khắc độ thì phải khắc độ lại với cảm biến mới.

17.4.2. Xử lý tuyến tính hóa từng đoạn

Trường hợp đặc tính của tín hiệu x sau cảm biến là một hàm phi tuyến của đại lượng đo ξ , tức là $x(\xi)$ - là một hàm phi tuyến. Thay vì khắc độ đặc tính đo vào bộ nhớ như đã đề cập ở trên ta có thể thay $x(\xi)$ bằng một đường gấp khúc tuyến tính hóa từng đoạn với sai số ε_0 , cho trước tức là sai số xấp xỉ hóa không vượt quá ε_0 (hình 17.9). Phương pháp này còn gọi là phương pháp *nội suy tuyến tính*. Một thuật toán lựa chọn đoạn tuyến tính hóa được thực hiện như sau :

- Ở giá trị ξ_0 của đại lượng đo đường cong $x(\xi)$ cho ta giá trị x_0
- x_0 được nhớ vào RAM của μP
- Ở giá trị ξ_1 ta có x_1
- x_1 được nhớ vào RAM của μP
- Ở giá trị ξ_2 ta có x_2

- x_2 được nhớ vào RAM của μP
- Tính tỷ số các số gia bậc một của đa thức nội suy Lagrange $x_L^*(\xi)$ đi qua hai điểm x_0, x_1 .

$$\nabla(\xi_2, \xi_0) = \frac{x_2 - x_0}{\xi_2 - \xi_0}$$

- Tính giá trị của đa thức nội suy ở điểm ξ_1

$$x_1^*(\xi_1) = x_0 + \nabla(\xi_2, \xi_0) (\xi_1 - \xi_0)$$

- Tính độ sai lệch ở điểm ξ_1

$$\varepsilon_1(\xi_1) = |x_1 - x_1^*(\xi_1)|$$

- So sánh $\varepsilon_1(\xi_1)$ với sai số

đã cho ε_0

Hình 17.9. Phương pháp nội suy tuyến tính.

- Nếu $\varepsilon_1(\xi_1) < \varepsilon_0$ thì giá trị tín hiệu sẽ không được chấp nhận
- Ở điểm ξ_3 ta có x_3
- Nhớ x_3 vào RAM
- Tính tỷ số của các số gia bậc một đối với đa thức nội suy $x_2^*(\xi)$

$$\nabla(\xi_3, \xi_0) = \frac{x_3 - x_0}{\xi_3 - \xi_0}$$

- Tính các giá trị của đa thức nội suy ở các điểm ξ_1, ξ_2

$$x_2^*(\xi_1) = x_0 + \nabla(\xi_3, \xi_0) (\xi_1 - \xi_0)$$

$$x_2^*(\xi_2) = x_0 + \nabla(\xi_3, \xi_0) (\xi_2 - \xi_0)$$

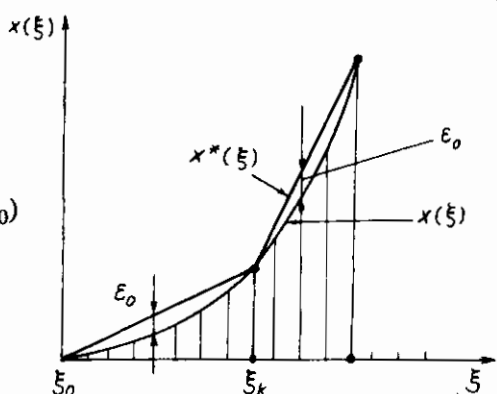
- Tính độ sai lệch của phép nội suy tại ξ_1, ξ_2

$$\varepsilon_2(\xi_1) = |x_1 - x_2^*(\xi_1)|$$

$$\varepsilon_2(\xi_2) = |x_2 - x_2^*(\xi_2)|$$

- So sánh $\varepsilon_2(\xi_1)$ và $\varepsilon_2(\xi_2)$ với ε_0

- Nếu
$$\begin{cases} \varepsilon_2(\xi_1) < \varepsilon_0 \\ \varepsilon_2(\xi_2) < \varepsilon_0 \end{cases}$$



Giá trị x_3 sẽ không được chấp nhận và không được coi là điểm cuối của đoạn tuyến tính hóa.

- Ở điểm ξ_K nào đó ta có x_K và đa thức nội suy sẽ là :

$$x_{K-1}^*(\xi) = x_0 + \nabla(\xi_K, \xi_0)(\xi - \xi_0)$$

$$\nabla(\xi_K, \xi_0) = \frac{x_K - x_0}{\xi_K - \xi_0}$$

mà ta có $\varepsilon_{K-1}(\xi_j) = |x_j - x_{K-1}^*(\xi_j)| \geq \varepsilon_0$

đối với một điểm j nào đó, thêm vào đó $0 < j < K$

- Khoảng nội suy lúc đó sẽ bằng :

$$\Delta \nabla \xi_K = \xi_K - \xi_0$$

Lúc đó giá trị x_K sẽ được chấp nhận như là điểm cuối của đoạn thẳng của đường xấp xỉ hóa từng đoạn

- Với phép nội suy tuyến tính quá trình hồi phục sẽ được tiến hành theo cách nối liền các điểm bằng đoạn thẳng

$$x^*(\xi) = x_0 + \frac{x_K - x_0}{\xi_K - \xi_0}(\xi - \xi_0)$$

Đoạn thẳng tiếp theo sẽ đi qua điểm ξ_k và giá trị của quá trình tuyến tính hóa từng đoạn (hình 17.9).

Một cách tổng quát : đoạn thẳng thứ i của đường gấp khúc có dạng :

$$x_i^*(\xi) = x_i + \frac{x_{i+1} - x_i}{\xi_{i+1} - \xi_i}(\xi - \xi_i) \quad (17.3)$$

Để hồi phục các giá trị đo ta chỉ việc tính $x_i^*(\xi)$ theo đối số ξ là các đại lượng đo được từ cảm biến. Các giá trị tính được theo đường nội suy tuyến tính luôn đảm bảo sai số cho phép là ε_0 .

17.4.3. Gia công kết quả đo

Khi tính toán sai số ngẫu nhiên, người ta thường sử dụng các đặc tính của chúng, đó là kỳ vọng toán học và độ lệch bình quân phương. Các đặc trưng thống kê này đủ để đánh giá sai số của kết quả đo. Việc tính các đặc tính số này là nội dung cơ bản trong quá trình gia công kết quả đo.

Để tính kỳ vọng toán học và độ lệch bình quân phương ta phải có số lượng các phép đo rất lớn. Tuy nhiên trong thực tế số lượng các phép đo n là có hạn, vì thế ta chỉ tìm được *ước lượng* của kỳ vọng toán học

và độ lệch bình quân phương mà thôi. Thường các ước lượng này đối với các lượng đo vật lý có các tính chất cơ bản là các ước lượng có căn cứ, *không chệch* và có *hiệu quả*.

Nếu gọi ξ^* là ước lượng của đặc tính thống kê ξ thì :

- Nếu ta tăng số lượng N các giá trị đo và nếu với $\varepsilon > 0$ mà ta có

$$\lim_{N \rightarrow \infty} P[|\xi^* - \xi| \geq \varepsilon] = 0 \quad (17.4)$$

thì ước lượng ξ^* được gọi là ước lượng có *căn cứ*.

- Nếu lấy trung bình ước lượng mà ta có :

$$M[\xi^*] = \xi \quad (17.5)$$

thì ước lượng ξ^* được gọi là ước lượng *không chệch*.

- Nếu lấy trung bình bình phương độ sai lệch (phương sai) của một ước lượng đã cho ξ_1^* nào đó không lớn hơn trung bình bình phương độ sai lệch của bất kỳ ước lượng thứ i nào ξ_i^*

- Thì ước lượng đó được gọi là có *hiệu quả* :

$$M[(\xi_1^* - \xi)^2] > M[(\xi_i^* - \xi)^2] \quad (17.6)$$

Ví dụ : Kỳ vọng toán học của các giá trị một điểm đo X có ước lượng là m_X^* , ta có

$$\begin{aligned} M[m_X^*] &= M\left[\frac{1}{N} \sum_{i=1}^N X_i\right] = \frac{1}{N} M\left[\sum_{i=1}^N X_i\right] \\ &= \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N M[X_i] = \frac{1}{N} N \cdot m_X = m_X \end{aligned} \quad (17.7)$$

Như vậy ước lượng kỳ vọng toán học m_X^* là ước lượng không chệch.

Tương tự ta có thể chứng minh được rằng :

$$M[D_X^*] = D_X = \sigma_X^2 \quad (17.8)$$

Tức là ước lượng của phương sai D_X^* của các giá trị điểm đo X là một ước lượng không chệch.

Giả sử ta tiến hành n phép đo cùng một giá trị X . Giá trị đáng tin nhất đại diện cho đại lượng đo X là giá trị trung bình đại số của dãy các phép đo như nhau $\bar{X}$:

$$\bar{X} = (x_1 + x_2 + x_3 + \dots + x_i + x_n)/n = \sum_{i=1}^N \frac{x_i}{n} \quad (17.9)$$

$x_1, x_2, \dots, x_n$ - kết quả của các phép đo riêng biệt
 n - số các phép đo.

Ước lượng của kỳ vọng toán học m_x^* của đại lượng đo sẽ bằng $\bar{X}$. Nếu không có sai số hệ thống thì $\bar{X}$ sẽ là *giá trị thực* của đại lượng đo. Tất cả giá trị của kết quả đo sẽ phân tán xung quanh giá trị $\bar{X}$ này.

Độ lệch của kết quả mỗi lần đo so với giá trị trung bình (theo giá trị số và theo dấu) được xác định từ biểu thức :

$$x_i - \bar{X} = v_i \quad (17.10)$$

v_i - là *sai số dư*.

Sai số dư có các tính chất sau đây

- Tổng tất cả các số dư bằng "0"

$$\sum_{i=1}^n v_i = 0 \quad (17.11)$$

- Tổng của bình phương của chúng có giá trị nhỏ nhất

$$\sum_{i=1}^n v_i^2 = \text{Min}$$

Những tính chất này được sử dụng khi gia công kết quả đo để kiểm tra độ chính xác của việc tính $\bar{X}$.

Theo tổng bình phương của tất cả sai số dư người ta xác định *ước lượng độ lệch bình quân phương* σ^* , tiêu biểu cho mức độ ảnh hưởng của sai số ngẫu nhiên đến kết quả đo.

Theo lý thuyết xác suất việc tính σ^* được thực hiện theo công thức Bessel :

$$\sigma^* = \sqrt{\sum_{i=1}^n v_i^2 / (n - 1)} \quad (17.12)$$

Ước lượng này không chệch, có căn cứ và có hiệu quả.

Việc chia tổng bình phương sai số dư cho $n-1$ thay cho n có thể chấp nhận được vì kết quả gần bằng nhau và n càng lớn thì sự sai lệch càng nhỏ. Ước lượng độ lệch bình quân phương σ^* đặc trưng cho độ chính xác của một dãy các phép đo và được xác định bởi một tập các điều

kiện đo (các đặc tính kỹ thuật của dụng cụ đo, các đặc điểm của người làm thí nghiệm, các yếu tố bên ngoài ảnh hưởng đến phép đo). Ước lượng σ^* đặc trưng cho độ phân tán của kết quả đo xung quanh giá trị trung bình đại số của nó.

Vì giá trị trung bình đại số còn có một sai số ngẫu nhiên nào đó, nên ta đưa ra khái niệm ước lượng độ lệch bình phương của giá trị trung bình đại số

$$\sigma_X^* = \frac{\sqrt{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{X})^2}}{n(n-1)} = \frac{\sqrt{\sum_{i=1}^n v_i^2}}{n(n-1)} = \frac{\sigma^*}{\sqrt{n}} \quad (17.13)$$

Ước lượng này đặc trưng cho sai số của kết quả đo. Ước lượng đã khảo sát trên đây được gọi là *ước lượng điểm* bao gồm : $X_0 = \bar{X}$, σ_X^* , n .

Ước lượng điểm của sai số phép đo không hoàn chỉnh bởi vì σ_X^* chỉ thể hiện ở khoảng mà giá trị thực có thể nằm trong đó nhưng lại không nói gì về xác suất rơi của X_0 vào khoảng đó. Ước lượng điểm chỉ cho phép làm một vài kết luận nào đó về độ chính xác của các phép đo mà thôi.

* Bây giờ ta hãy xét một khái niệm ước lượng khác *ước lượng khoảng*. Đó là khoảng đáng tin mà trong giới hạn của khoảng đó với một xác suất nhất định ta tìm thấy giá trị thực X_0 .

Cho trước giá trị xác suất đáng tin P với đại lượng ngẫu nhiên có phân bố chuẩn và số lượng phép đo là vô hạn $n \rightarrow \infty$, thì theo bảng 17.1 ta tìm được hệ số k và như vậy tìm được khoảng đáng tin $\Delta_{1,2} = k\sigma^*$.

Khi số lượng các phép đo có hạn $n \geq 20$ khoảng đáng tin đó có thể tính gần bằng :

$$\Delta_{1,2} = k\sigma_X^* \quad (17.14)$$

Trong thực tế ta không thể tiến hành nhiều phép đo được thường chỉ hạn chế trong $2 \leq n < 20$, khi đó thì khoảng đáng tin được tính theo biểu thức sau đây :

$$\Delta'_{1,2} = h_{st} \sigma_X^* \quad (17.15)$$

Ở đây h_{st} - hệ số phân bố Student phụ thuộc vào xác suất đã cho P và số lượng phép đo n và được xác định theo bảng 17.1

Hệ số phân bố Student tho các giá trị xác suất P

"	0,5	0,9	0,95	0,98	0,99	0,999
2	1,000	6,31	12,7	31,8	63,7	637
3	0,816	2,92	4,30	6,96	9,92	31,6
4	0,765	2,35	2,35	4,54	5,84	13,0
5	0,741	2,13	2,78	3,75	4,60	8,61
6	0,727	2,02	2,57	3,36	4,04	6,86
7	0,718	1,94	2,49	3,14	3,71	5,96
8	0,711	1,90	2,36	3,00	3,50	5,40
9	0,706	1,86	2,31	2,90	3,36	5,04
10	0,703	1,83	2,26	2,82	3,25	4,78
12	0,697	1,80	2,20	2,72	3,1	4,49
14	0,694	1,77	2,16	2,65	3,01	4,22
16	0,691	1,75	2,13	2,60	2,99	4,07
18	0,689	1,74	2,11	2,57	2,90	3,96
20	0,688	1,73	2,09	2,54	2,86	3,88
25	0,684	1,71	2,06	2,49	2,80	3,74
31	0,683	1,70	2,04	2,46	2,75	3,65
41	0,681	1,68	2,02	2,42	2,70	3,55
61	0,679	1,67	2,00	2,39	2,66	3,46
121	0,677	1,65	1,98	2,36	2,62	3,37
∞	0,674	1,64	1,96	2,33	2,58	3,29

Số liệu trong bảng này được tính theo biểu thức

$$S(t; n) = \frac{(n/2)!}{\sqrt{\pi(n-1)} [(n-1)/2]!} \frac{1}{(1 + t^2/n)^{n/2}} \quad (17.16)$$

$S(t; n)$ - mật độ phân bố Student

$t = (\bar{X} - X_0)/\sigma_{\bar{X}}^*$ - phân bố Student

n - số lần đo.

Trường hợp $n \rightarrow \infty$ (thực tế với $n \geq 20$) thì phân bố Student sẽ tiến đến phân bố chuẩn, lúc đó h_{st} có thể thay bằng hệ số k như ở biểu thức (17.14).

Như vậy kết quả đo với ước lượng khoảng, nhờ có phân bố Student có thể viết dưới dạng

$$(\bar{X} - \Delta'_{1,2}) < X_0 < (\bar{X} + \Delta'_{1,2}) \quad (17.17)$$

Từ (17.17) ta thấy rằng xác suất của độ lệch giá trị trung bình đại số so với giá trị thực của đại lượng đo không vượt quá $\Delta'_{1,2}$.

* Khi thực hiện gia công kết quả đo người ta còn xác định khái niệm sai số bình quân phương tương đối theo biểu thức sau đây :

$$\gamma_{\bar{X}} = \frac{\sigma_{\bar{X}}^*}{\bar{X}} 100. \quad (17.18)$$

Quá trình gia công kết quả đo được biểu diễn theo sơ đồ một thuật toán ở hình 17.10.

Quá trình gia công này có thể thực hiện trên máy tính với bất kỳ ngôn ngữ nào. Kết quả cho chúng ta giá trị thực $X_0 = \bar{X}$ và khoảng đáng tin $\Delta'_{1,2}$.

Vậy kết quả đo được sau khi gia công sẽ là :

$$\bar{X} \pm \Delta'_{1,2} \quad (17.19)$$

17.4.4. Sai số của kết quả các phép đo gián tiếp

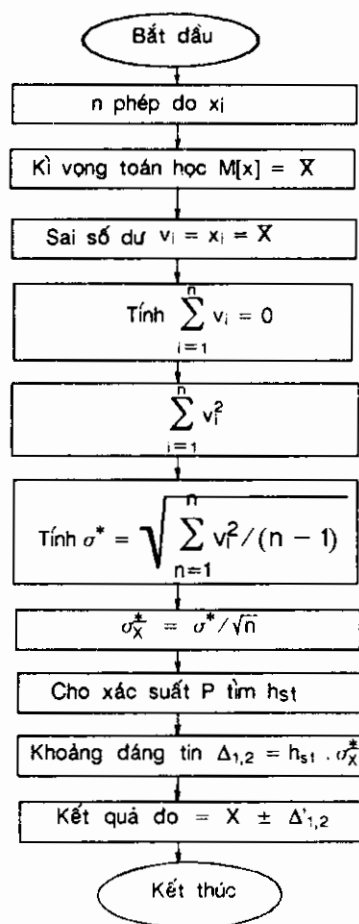
Khi tính toán các sai số ngẫu nhiên của phép đo gián tiếp cần phải nhớ rằng đại lượng cần đo Y có quan hệ hàm với một hay nhiều đại lượng đo trực tiếp $X_1, X_2, \dots, X_n$ tức là :

$$Y = f(X_1, X_2, \dots, X_n) \quad (17.20)$$

Vì thế mà sai số tuyệt đối của kết quả phép đo gián tiếp như sau :

$$\Delta Y = \sqrt{\left(\frac{\partial Y}{\partial X_1}\right)^2 \Delta X_1^2 + \left(\frac{\partial Y}{\partial X_2}\right)^2 \Delta X_2^2 + \dots + \left(\frac{\partial Y}{\partial X_n}\right)^2 \Delta X_n^2} \quad (17.21)$$

Và sai số tương đối của kết quả đo sẽ là :



Hình 17.10. Sơ đồ thuật toán gia công kết quả đo.

$$\gamma_Y = \frac{\Delta Y}{Y} = \sqrt{\left(\frac{\Delta X_1}{Y}\right)^2 \left(\frac{\partial Y}{\partial X_1}\right)^2 + \left(\frac{\Delta X_2}{Y}\right)^2 \left(\frac{\partial Y}{\partial X_2}\right)^2 + \dots + \left(\frac{\Delta X_n}{Y}\right)^2 \left(\frac{\partial Y}{\partial X_n}\right)^2}$$

$$= \sqrt{\gamma_{X_1}^2 + \gamma_{X_2}^2 + \dots + \gamma_{X_n}^2} \quad (17.22)$$

$\gamma_{X_1}, \gamma_{X_2}, \dots, \gamma_{X_n}$ - là sai số tương đối của các đại lượng đo trực tiếp $X_1, X_2, \dots, X_n$.

* Nếu các kết quả đo trực tiếp X_i được xác định với sai số bình quân phương σ_{X_i} , thì

$$\sigma_Y = \sqrt{\left(\frac{\partial Y}{\partial X_1}\right)^2 \sigma_{X_1}^2 + \left(\frac{\partial Y}{\partial X_2}\right)^2 \sigma_{X_2}^2 + \dots + \left(\frac{\partial Y}{\partial X_n}\right)^2 \sigma_{X_n}^2} \quad (17.23)$$

Ở đây $\frac{\partial Y}{\partial X_i} \sigma_{X_i}$ - sai số riêng của phép đo gián tiếp.

Ở bảng 17.2 đưa ra cách tính sai số tuyệt đối và sai số tương đối của một số hàm Y thường gặp nhất trong các phép đo gián tiếp.

Bảng 17.2.

Xác định sai số trong các phép đo gián tiếp

Hàm Y	Sai số tuyệt đối ΔY	Sai số tương đối $\gamma_Y = \frac{\Delta Y}{Y}$
$X_1 + X_2$	$\pm \sqrt{(\Delta X_1)^2 + (\Delta X_2)^2}$	$\pm \sqrt{[(\Delta X_1)^2 + (\Delta X_2)^2] / (X_1 + X_2)^2}$
$X_1 X_2$	$\pm \sqrt{X_1^2 (\Delta X_2)^2 + X_2^2 (\Delta X_1)^2}$	$\pm \sqrt{\left(\frac{\Delta X_1}{X_1}\right)^2 + \left(\frac{\Delta X_2}{X_2}\right)^2}$
$\frac{X_1}{X_2}$	$\pm \sqrt{[X_1^2 (\Delta X_1)^2 + X_1^2 (\Delta X_2)^2] X_2^4}$	$\pm \sqrt{\left(\frac{\Delta X_1}{X_1}\right)^2 + \left(\frac{\Delta X_2}{X_2}\right)^2}$
X^n	$\pm n X^{n-1} \Delta X$	$\pm n (\Delta X / X)$

17.4.5. Bù sai số

a/ Bù sai số cộng tính

Như đã biết sai số cộng tính thường xảy ra trong các cảm

biến do ma sát, do đặc tính trễ của cảm biến, dĩ nhiên có thể biểu diễn với đại lượng đo X . Ta có

$$Y_x = K_x X + \Delta Y_a \quad (17.24)$$

với

$$K_x = \frac{Y_{i+1} - Y_i}{X_{i+1} - X_i}$$

ΔY_a không thay đổi theo giá trị của X là sai số cộng tính (hình 17.11).

Loại trừ sai số này bằng một bộ trừ (hình 17.12).

$$\text{Ta có } Y_i = K_i X_i + \Delta Y_a \quad (17.25)$$

Thực hiện phép trừ (17.24) và (17.25)

Sau khi biến đổi ta có :

Hình 17.11. Sơ đồ nguyên lý bù sai số cộng tính.

$$X - X_i = (Y_x - Y_i) \left(\frac{X_{i+1} - X_i}{Y_{i+1} - Y_i} \right) \quad (17.26)$$

Với cách đó ta đã loại trừ được thành phần sai số cộng tính ΔY_a . Ở đây ta thấy với cách bù sai số phi tuyến thì ta cũng bù luôn sai số cộng tính.

b/ Bù sai số nhân tính

Trong cảm biến có sai số nhân tính ta có (hình 17.13)

$$Y_x = X K_x (1 - \gamma_k), \quad (17.27)$$

trong đó : γ_k là sai số nhân tính.

Muốn bù sai số nhân tính ta dùng một phép chia.

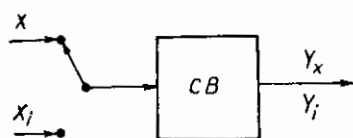
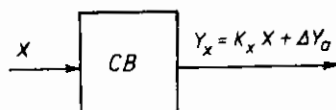
Nếu đại lượng vào là X_0

$$\text{ta có } Y_0 = X_0 K_0 (1 + \gamma_k) \quad (17.28)$$

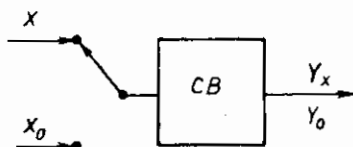
Làm phép chia ta được :

$$\frac{Y_x}{Y_0} = \frac{X}{X_0} \frac{K_x(1 + \gamma_k)}{K_0(1 + \gamma_k)} = \frac{X}{X_0} \frac{K_x}{K_0} \quad (17.29)$$

$$X = \frac{Y_x}{Y_0} \frac{K_0}{K_x} X_0$$



Hình 17.12. Loại trừ sai số cộng tính



Hình 17.13. Sai số nhân tính đã được loại trừ.

c/ Bù sai số do các yếu tố ảnh hưởng

Một trong những sai số khó loại trừ nhất trong các cảm biến là các yếu tố ảnh hưởng (hay các yếu tố không mang thông tin). Khi nghiên cứu các cảm biến người ta cũng đã đưa vào các biện pháp để loại trừ những yếu tố đơn nhưng trong nhiều cảm biến ảnh hưởng này rất khó loại trừ. Không những thế ở các cảm biến khác nhau cùng một công nghệ chế tạo, ảnh hưởng này cũng khác nhau, vì thế trong các cảm biến thông minh ta thường bù ảnh hưởng của các yếu tố không mang thông tin trên ngay cảm biến sử dụng ấy. Từ phương trình biến đổi của cảm biến ta có thể viết sai số :

$$\Delta Y = \frac{\partial F}{\partial x} \Delta X + \frac{\partial F}{\partial a} \Delta a + \frac{\partial F}{\partial b} \Delta b + \dots \quad (17.30)$$

$\frac{\partial F}{\partial a} \Delta a$ là ảnh hưởng của yếu tố a đến kết quả đo Y . Nhờ khả năng xử lý của máy tính ta có thể sai phân hóa và nội suy tuyến tính.

Bảng thực nghiệm ta lập ra bảng ảnh hưởng.

Bảng 17.3.

Bảng ảnh hưởng

A \ X	X ₁	X ₂	...	X _i	X _n
A ₁	X'11	A ₁₂	...	Δ ₁₁	Δ _{1n}
A ₂	A ₂₁	A ₂₂	...	Δ ₂₁	Δ _{2n}
			...		
A _j	A _{j1}	A _{j2}	...	Δ _{ji}	Δ _{jn}
			...		
A _m	A _{m1}	A _{m2}	...	Δ _{mi}	Δ _{mn}

Khi muốn bù ảnh hưởng của yếu tố A, ta tra bảng để xác định độ ảnh hưởng của yếu tố A.

Từ giá trị A do một cảm biến đo phụ, và căn cứ vào giá trị đại lượng đo được ta tra ra Δ_{ji}, sau đó nội suy tuyến tính ra giá trị của đại lượng đó mà ta phải bù, để loại sai số do sự ảnh hưởng của yếu tố A.

17.5. VÍ DỤ VỀ CẢM BIẾN THÔNG MINH

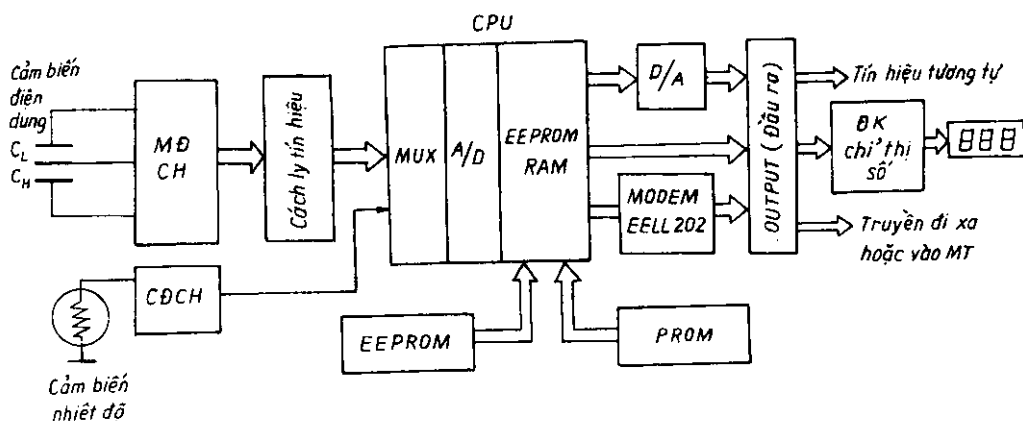
17.5.1. Cảm biến đo áp suất thông minh 4301

1. Giới thiệu

Cảm biến đo áp suất thông minh 4301 là một cảm biến áp suất đo từ xa, có thể sử dụng để đo cả áp suất, mức, lưu lượng (kết hợp với các bộ biến đổi khác). Cảm biến thông minh được chế tạo từ cảm biến điện dung. Thiết bị được chế tạo bằng công nghệ cao và tin cậy. Kỹ thuật số được áp dụng cho 4301 tạo ra khả năng truyền số liệu đi xa và dễ dàng ghép nối với các thiết bị ngoại vi giữa đối tượng đo và phòng điều khiển trung tâm của xí nghiệp công nghiệp.

2. Mô tả phần cứng

Sơ đồ khối của cảm biến thông minh được biểu diễn ở hình 17.14. Cảm biến được sử dụng là cảm biến điện dung kiểu vi sai (hình 17.15). Ở cảm biến này áp suất P_1 , P_2 tác động lên hai phía của cảm biến C_H và C_L (ở đây $P_1 \geq P_2$). Khi $P_1 > P_2$ màng đàn hồi của cảm biến bị đẩy sang phía P_2 tạo ra sự chênh lệch điện dung của cả hai phía. Một phía điện dung tăng lên C_H còn phía kia điện dung bị giảm C_L . Đó là cảm biến kiểu vi sai.



Hình 17.14. Sơ đồ khối của cảm biến.

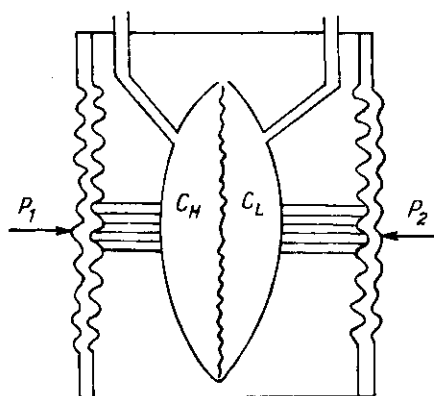
Sau khi mắc cảm biến vào mạch đo chuẩn hóa (MĐCH) tín hiệu phát ra dưới dạng tần số. Qua mạch cách ly bằng photodiot tín hiệu được đưa vào CPU. MUX được cài đặt để ngoài tín hiệu đo còn đưa tín hiệu nhiệt độ môi trường vào để hiệu chỉnh sai số qua một cảm biến nhiệt

độ sau đó qua A/D để đưa vào μP , RAM v.v... trong CPU. CPU làm nhiệm vụ quản lý mọi thao tác của tất cả các khâu trong bộ cảm biến như tuyến tính hóa từng đoạn đường cong của cảm biến và truyền thông tin đi xa qua MODEM hoặc vào máy tính.

Chương trình được cất giữ ở PROM bên trong bộ vi xử lý khi thu thập số liệu, thông tin được nhớ vào RAM. Thông tin trong RAM sẽ bị mất khi ngắt nguồn. Vì vậy CPU có chứa một bộ nhớ EEPROM ở đó thông tin được nhớ vào và cất giữ. Ví dụ về thao tác này là quá trình khác độ, sắp xếp, nhận biết và cho ra số liệu đo.

Một bộ EEPROM khác cũng được lắp đặt để ghi và đọc thông tin về độ chênh lệch áp suất và nhiệt độ môi trường. Bộ đầu ra OUT PUT thực hiện nhiệm vụ đưa thông tin ra dưới dạng tương tự (qua D/A-126A) dưới dạng dòng một chiều DC

4-20 mA hoặc ra chỉ thị số, hoặc truyền đi xa hay vào máy tính (thông qua MODEM - EELL 202). Sử dụng MODEM để điều chế tần số dạng mã ứng với mức "1" có tần số 1200 Hz, ứng với mức "0" có tần số là 2200 Hz khi truyền tần số hoặc truyền dòng một chiều DC 4-20 mA. Nguồn cung cấp có dòng là 3,9 mA.

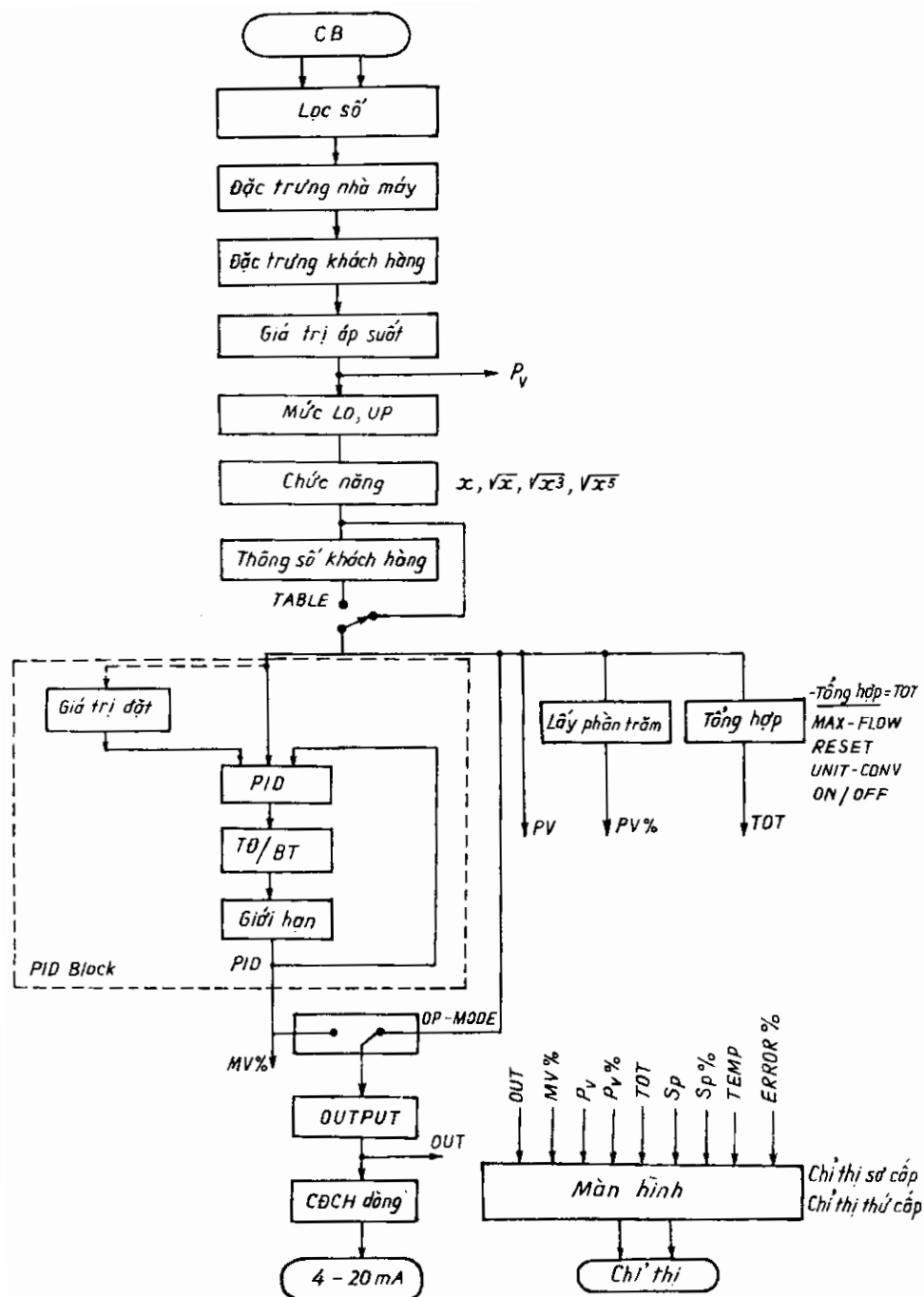


Hình 17.15. Cảm biến điện dung kiểu vi sai.

3. Chức năng của bộ cảm biến

Tùy thuộc vào cách sử dụng, bộ cảm biến thông minh có thể thực hiện các chức năng sau :

- Đo trực tiếp đại lượng đo x : sử dụng trong trường hợp đo áp suất, độ chênh áp suất và đo mức.
- Đo căn bậc 2 của x : $(\sqrt{x})$: cho trường hợp đo lưu lượng với các chuyển đổi áp suất kiểu vi sai.
- Đo căn bậc 2 của x^3 : $(\sqrt{x^3})$: sử dụng cho trường hợp đo lưu lượng một kênh nước mở có tiết diện hình thang.
- Đo căn bậc 2 của x^5 : $(\sqrt{x^5})$: sử dụng cho trường hợp đo lưu lượng một kênh nước mở có tiết diện hình chữ V.



Hình 17.16. Mô tả thuật toán.

- TABLE - tín hiệu áp suất được sắp xếp đặt theo bảng biểu có 16 điểm, hay biến đổi thành mức của một bể chứa hình trụ.

- CONTROLLER - quá trình diễn ra luôn được số ánh với giá trị đặt trước (Setpoint). Sự sai lệch so với giá trị đặt sẽ được đưa vào điều khiển bởi thuật toán PID.

- LOCAL ADJUSTMENT (hiệu chỉnh) - quá trình hiệu chỉnh được thực hiện không những cho mức cao, thấp mà còn các chức năng khác như : đầu vào, đầu ra, các dạng thao tác, chỉ thị, điều chỉnh giá trị đặt, các thông số của PID v.v... nghĩa là không cần điều khiển bằng tay.

- PASSWORD - có 3 mức cho các chức năng khác nhau.

- OPERATION COUNTER - chỉ ra số hiệu cho mỗi chức năng.

- TOTALIZATION - lưu lượng được đổi thành mức hay khối lượng.

- USER - UNIT - chỉ rõ các số đo được như : mức lưu lượng bộ phận nào, quyền sở hữu của ai v.v...

4/ Mô tả thuật toán

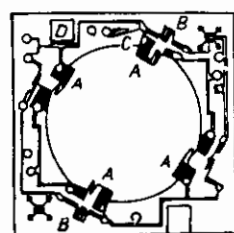
Phần mềm của cảm biến được mô tả như ở hình 17.16. Từ bộ cảm biến điện dung, nhiệt độ, tín hiệu được mã hóa để qua lọc số, qua yêu cầu của nhà máy cũng như khách hàng để tạo giá trị áp suất P_v . Tiếp đến phần mềm tạo mức giới hạn đo LO, UP (dưới và trên). Sau đó đến chức năng từng đại lượng cần đo x (sử dụng tuyến tính hóa từng đoạn đường cong cảm biến), các chức năng khác $\sqrt{x}$, $\sqrt{x^3}$, $\sqrt{x^5}$ và đưa ra bảng liên hệ (TABLE) hoặc đưa vào điều khiển đối tượng qua thuật toán PID. Mức hiệu chỉnh ở đầu và MV%. Để truyền đi xa có thể qua bộ CACH dòng để tạo ra dòng 4 - 20 mA. Truyền thông tin đến trung tâm hay chỉ thị tương tự.

Tín hiệu ra được thể hiện lên màn hình và chỉ thị số.

17.5.2. Bộ cảm biến áp suất vi sai thông minh

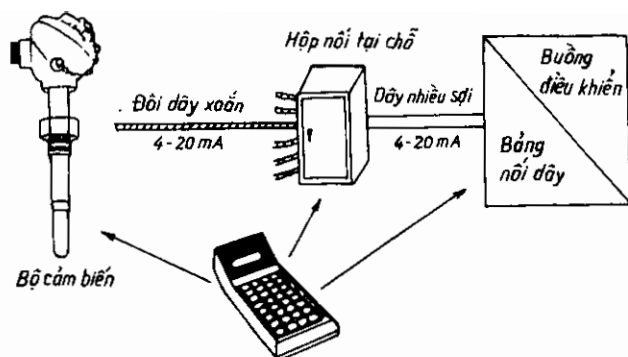
Ta hãy xét cấu trúc của một cảm biến thông minh điển hình loại ST 3000 của hãng Honeywell có sơ đồ hình 17.17.

Đây là cảm biến áp suất vi sai (DPS - Differential Pressure Sensor) kết hợp với một cảm biến áp suất tĩnh (Static Pressure Sensor - SPS) và một cảm biến nhiệt độ (Temperature Sensor - TS). Hai loại cảm biến sau để phản ánh các đại lượng ảnh hưởng đến phép đo và hiệu chỉnh đại lượng cần đo là áp suất vi sai. Toàn bộ ba cảm biến này nằm trong một hộp tiêu thụ dòng điện từ 4 - 20 mA. Việc trao đổi giữa cảm biến và nhân viên vận hành nhờ bàn phím.



- A Cảm biến áp suất vi sai;
 B Cảm biến áp suất tĩnh;
 C Cảm biến nhiệt độ;
 D Chỗ gá lắp

a) Cảm biến ST 3000



Bộ cảm biến

b) Sơ đồ nối cảm biến

Hình 17.17. Cảm biến ST 3000

Khối cảm biến ở đây gồm ba cảm biến DSP, SPS và TS, tiếp theo là bộ điều biến độ rộng xung PWM (Pulses Width Modulation) dùng để chuẩn hóa tín hiệu đo. Tiếp theo tín hiệu tương tự đo được số hóa và xử lý nhờ bộ vi xử lý, vi điều khiển và bộ xử lý tín hiệu DSP (Digital Signal Processor) là bộ vi xử lý chuyên dụng được sử dụng ở khâu cần tăng cường tính toán. Chương trình của chúng thường chứa nhiều lệnh số học hơn các lệnh di chuyển dữ liệu hoặc xử lý vào - ra.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

1. Điều khiển số máy điện – Lê Văn Doanh, Nguyễn Thế Công, Nguyễn Trung Sơn, Cao Văn Thành. Nhà xuất bản Khoa học và Kỹ thuật, 1999
2. Cẩm nang kỹ thuật điện, tự động hóa và tin học công nghiệp – Lê Văn Doanh dịch. Nhà xuất bản Khoa học và Kỹ thuật, 1999
3. 110 sơ đồ thực hành khuếch đại thuật toán – Lê Văn Doanh và Võ Thạch Sơn dịch. Nhà xuất bản Khoa học và Kỹ thuật, 1994
4. Các phương pháp hiện đại trong nghiên cứu tính toán và thiết kế kỹ thuật điện – Đặng Văn Đào và Lê Văn Doanh. Nhà xuất bản Khoa học và Kỹ thuật, 2000
5. Giáo trình cảm biến – Phan Quốc Phô – Nguyễn Đức Chiến. Nhà xuất bản Khoa học và Kỹ thuật, 2000
6. Kỹ thuật đo lường các đại lượng vật lý – Phạm Thượng Hàn, Nguyễn Trọng Quế, Nguyễn Văn Hòa, Nhà xuất bản Giáo dục, 1996
7. Bài giảng truyền dẫn sợi quang – Ngô Thanh Ngọc, Huỳnh Tấn Phúc – Trung tâm đào tạo bưu chính viễn thông II, 1996
8. AIP Handbook of Modern Sensors – Jacob Fraden, American Institute of Physics, 1993
9. Sensors Handbook – Sabrie Soloman, Mc Graw – Hill, 1998
10. Systèmes de mesures informatisés – Tran Tien Lang, Masson, 1991
11. Capteurs chimiques et biochimiques – Nicole Jaffrezic Renault, Claude Martelet, Paul Clechet P360, R420, Technique de l'Ingénieur
12. Detecteurs infrarouge Gilbert Gaussorgnes – Francois Micheron, P.J.Pocholle, J.L.Meyzonnette E4060, 1996, Technique de l'Ingénieur
13. Systèmes optroniques passifs, Applications industrielles de l'infrarouge Gilbert Gaussorgnes E4 130, 1996 Technique de l'Ingénieur
14. Génération et détection optique d'ondes élastiques – Daniel Royer E4 415, 3-1996, Technique de l'Ingénieur

15. Capteurs à fibres optiques – Marc Ferretti, R 415, Technique de l'Ingénieur
16. Microscopie thermique à balayage – Georger Le Palec, Daniel Rondot, R 2770, Technique de l'Ingénieur
17. Pressions usuelles dans les fluides, Instruments et principes de mesure – Christian Ribreau, Mars Bonis, J.P. Gligny, Jaques Beaufront R 2040, Technique de l'Ingénieur
18. Les SQUID et leurs application – Daniel Bloyet, Chantal Gunther, R 928, Traité Mesures et Controle Technique de l'Ingénieur
19. Mesure du vid – Dennis Perrillat, Amédé R2050, Technique de l'Ingénieur

CÁC BỘ CẢM BIẾN

TRONG KỸ THUẬT ĐO LƯỜNG VÀ ĐIỀU KHIỂN

Chịu trách nhiệm xuất bản : Pgs. Ts. Tô Đăng Hải

Biên tập : Nguyễn Thị Ngọc Khuê

Nguyễn Đăng

Vẽ bìa : : Hương Lan

Nhà xuất bản Khoa học và Kỹ thuật
70 Trần Hưng Đạo - Hà Nội

In 1000 cuốn tại Xưởng in Công ty in Hàng Không

Giấy phép xuất bản số : 978 - 46 - 3/10/2001

In xong và nộp lưu chiểu tháng 10/2001