

**ĐẠI HỌC QUỐC GIA THÀNH PHỐ HỒ CHÍ MINH
TRƯỜNG ĐẠI HỌC BÁCH KHOA**

Nguyễn Ngọc Tân - Ngô Văn Kỳ

**KỸ THUẬT ĐO
TẬP 1
ĐO ĐIỆN**

**NHÀ XUẤT BẢN ĐẠI HỌC QUỐC GIA
THÀNH PHỐ HỒ CHÍ MINH - 2005**

MỤC LỤC

<i>Lời mở đầu</i>	7
<i>Chương 1</i>	
KHÁI NIỆM VỀ ĐO LUỒNG	9
1.1 Đại lượng đo lường	9
1.2 Chức năng và đặc tính của thiết bị đo lường	10
1.3 Chuẩn hóa trong đo lường	11
1.4 Chất lượng của đo lường	12
1.5 Những phần tử trong thiết bị đo điện tử	20
1.6 Lợi ích thiết thực của điện tử trong đo lường	21
1.7 Sự chọn lựa, tính cẩn thận và cách dùng thiết bị đo	21
1.8 Hệ thống đo lường	22
<i>Chương 2</i>	
ĐO ĐIỆN ÁP VÀ DÒNG ĐIỆN	26
2.1 Cơ cấu chỉ thị kim	26
2.2 Đo dòng một chiều (DC) và xoay chiều (AC)	35
2.3 Đo điện áp AC và DC	42
2.4 Đo điện áp DC bằng phương pháp biến trở	48
2.5 Vôn-kế điện tử đo điện áp DC	52
2.6 Vôn-kế điện tử đo điện áp AC	61
2.7 Ampe-kế điện tử đo dòng AC và DC	70
Bài tập	71
<i>Chương 3</i>	
ĐO ĐIỆN TRỞ	82
3.1 Đo điện trở bằng Vôn-kế và Ampe-kế	82
3.2 Đo điện trở dùng phương pháp đo điện áp bằng biến trở	84
3.3 Mạch đo điện trở trong Ohm-kế	84
3.4 Cầu Wheatstone đo điện trở	91
3.5 Cầu đôi Kelvin	94
3.6 Đo điện trở có trị số lớn	96
3.7 Đo điện trở đất	105
3.8 Đo điện trở trong V.O.M. điện tử	111
Bài tập	118
<i>Chương 4</i>	

ĐO ĐIỆN DUNG, ĐIỆN CẢM VÀ HỒ CẢM	125
4.1 Dùng Vôn-kế, Ampe-kế đo điện dung, điện cảm và hồ cảm	125
4.2 Dùng cầu đo đo điện dung và điện cảm	128
4.3 Đo hồ cảm	139
Bài tập	141
<i>Chương 5</i>	
ĐO CÔNG SUẤT VÀ ĐIỆN NĂNG	146
5.1 Đo công suất một chiều	146
5.2 Đo công suất xoay chiều một pha	148
5.3 Đo công suất tải ba pha	155
5.4 Đo công suất phản kháng của tải	159
5.5 Đo điện năng	162
5.6 Đo hệ số công suất	167
5.7 Thiết bị chỉ thị đồng bộ hóa (<i>Synchronoscope</i>)	171
5.8 Tần số kế	173
<i>Chương 6</i>	
ĐO ĐẠI LƯỢNG CƠ HỌC VẬT THỂ RẮN	178
6.1 Cảm biến vị trí và sự dịch chuyển	178
6.2 Cảm biến điện trở biến dạng	202
6.3 Cảm biến đo tốc độ	207
6.4 Cảm biến đo lực, trọng lượng	215
6.5 Cảm biến đo ngẫu lực	221
6.6 Đo gia tốc, độ rung và sự va chạm	223
<i>Chương 7</i>	
ĐO NHIỆT ĐỘ	228
7.1 Thang đo nhiệt độ	228
7.2 Đo nhiệt độ bằng điện trở	228
7.3 Đo nhiệt độ bằng cặp nhiệt điện	234
7.4 Dùng diod và transistor đo nhiệt độ	243
7.5 Đo nhiệt độ bằng IC	246
7.6 Dùng cảm biến thạch anh đo nhiệt độ	248
<i>Chương 8</i>	
ĐO CÁC ĐẠI LƯỢNG CƠ HỌC CHẤT LỎNG	255

8.1 Đo vận tốc chất lỏng	255
8.2 Lưu lượng kế	264
8.3 Đo và dò mực chất lỏng	269
<i>Chương 9</i>	
ĐO ĐẠI LUỢNG QUANG	273
9.1 Các đặc tính riêng của cảm biến quang	273
9.2 Điện trở quang	276
9.3 Diod quang	284
9.4 Transistor quang	291
9.5 Cảm biến phát xạ quang	296
<i>Chương 10</i>	
DAO ĐỘNG KÝ, TIA ÂM CỰC VÀ MÁY GHI X-Y	310
10.1 Ống phóng điện tử (CRT)	310
10.2 Các khối chức năng trong dao động ký	314
10.3 Trình bày tín hiệu trên màn ảnh của dao động ký	317
10.4 Dao động ký hai kênh	321
10.5 Thanh đo (<i>Probe</i>) của dao động ký	323
10.6 Bộ tạo trễ	325
10.7 Ứng dụng của dao động ký	327
10.8 Vôn kế tự ghi kết quả (<i>Voltmeter Recorder</i>)	332
10.9 Máy ghi trên hệ trực X - Y (X - Y recorder)	333
Phụ lục	333
<i>Tài liệu tham khảo</i>	343

Lời mở đầu

KỸ THUẬT ĐO được biên soạn nhằm phục vụ cho môn học Kỹ thuật Đo (Đo lường Điện và Điện tử - Electrical measurements and Electronic Instrumentation) được biên soạn thành hai tập:

KỸ THUẬT ĐO - TẬP 1 - ĐO ĐIỆN VÀ THIẾT BỊ ĐO ĐIỆN TỬ CƠ BẢN gồm 10 chương.

KỸ THUẬT ĐO - TẬP 2 - ĐO ĐIỆN TỬ gồm 5 chương.

Trong tập 1 các chương 1, 2, 3, 4, 5, 10, do thạc sĩ Nguyễn Ngọc Tân biên soạn: trình bày những phần cơ bản về đo lường điện và đo lường điện tử. Nguyên lý hoạt động của thiết bị đo gồm bộ chỉ thị, mạch đo và phương pháp đo của vôn-kế, ampe-kế, thiết bị đo điện trở, điện dung, điện cảm, điện năng kế, $\cos\phi$ -kế, tần số kế. Trong phần vôn-kế, ampe-kế, ohm-kế chúng tôi trình bày thêm mạch đo điện tử nhằm mục đích để sinh viên hiểu rõ nguyên lý đo của máy đo điện thông thường chuyển sang nguyên lý máy đo điện tử ngày nay đang được sử dụng rộng rãi.

Các chương 6, 7, 8, 9 và bài tập chương 2, 3, 4 do thạc sĩ Ngô Văn Ky biên soạn: trình bày nguyên lý hoạt động và đặc tính kỹ thuật của các cảm biến đo các đại lượng cơ, nhiệt, quang, cơ học lưu chất. Đây là những cảm biến cơ bản chuyển đổi đại lượng không điện sang các đại lượng điện được sử dụng trong các thiết bị đo lường công nghiệp hiện nay (*industrial instrumentation*) và trong hệ thống đo lường và điều khiển tự động.

Cuốn sách này nhằm cung cấp những kiến thức cơ bản về thiết bị đo lường cho sinh viên các ngành Điện - Điện tử - Máy tính (*Công nghệ Thông tin*) của các trường đại học; đồng thời cũng giúp ích cho sinh viên các ngành khác muốn tìm hiểu về thiết bị đo.

Chúng tôi mong nhận được nhiều ý kiến đóng góp của quý đồng nghiệp, các độc giả để lần tái bản cuốn sách được hoàn thiện hơn.

Xin chân thành cảm ơn các bạn đồng nghiệp, Bộ môn Cơ sở Kỹ thuật Điện - Khoa Điện - Điện tử, Trường Đại học Bách khoa đã giúp đỡ và tạo điều kiện thuận lợi cho chúng tôi hoàn thành quyển sách này.

Địa chỉ: Bộ môn Cơ sở Kỹ thuật Điện - Khoa Điện - Điện tử, Trường Đại học Bách khoa - Đại học Quốc gia TPHCM - 268 Lý Thường Kiệt, Q10. ĐT: (08) 8647685. Email: nntan@hcmut.edu.vn

nvky@hcmut.edu.vn

Nguyễn Ngọc Tân - Ngô Văn Kỳ

Chương 1

KHÁI NIỆM VỀ ĐO LƯỜNG

1.1 ĐẠI LƯỢNG ĐO LƯỜNG

Trong lĩnh vực đo lường, dựa trên tính chất cơ bản của đại lượng đo, chúng ta phân ra hai loại cơ bản.

- Đại lượng điện

□ Đại lượng không điện (*non electrical*) là những đại lượng vật lý, hóa học, sinh học, y học, ... không mang đặc trưng của đại lượng điện.

Tùy thuộc vào từng tính chất cụ thể của đại lượng đo, chúng ta đặt ra phương pháp và cách thức đo để từ đó thiết kế và chế tạo thiết bị đo.

1.1.1 Đại lượng điện

Được phân ra hai dạng:

- Đại lượng điện tác động (*active*)
- Đại lượng điện thụ động (*passive*).

1- Đại lượng điện tác động

Đại lượng điện áp, dòng điện, công suất là những đại lượng mang năng lượng điện. Khi đo các đại lượng này, bản thân năng lượng này sẽ cung cấp cho các mạch đo. Trong trường hợp năng lượng quá lớn, sẽ được giảm bớt cho phù hợp với mạch đo. Ví dụ như phân áp, phân dòng.

Nếu trong trường hợp quá nhỏ sẽ khuếch đại đủ lớn cho mạch đo có thể hoạt động được.

2- Đại lượng điện thụ động

Đại lượng điện trở, điện cảm, điện dung, hő cảm, ... các đại lượng này không mang năng lượng cho nên phải cung cấp điện áp hoặc dòng điện cho các đại lượng này khi đưa vào mạch đo.

Trong trường hợp đại lượng này đang là phần tử trong mạch điện đang hoạt động, chúng ta phải quan tâm đến cách thức đo theo yêu cầu. Ví dụ như cách thức đo *nóng* nghĩa là đo phần tử này trong khi mạch đang hoạt động hoặc cách thức đo *nguội* khi phần tử này đang ngưng hoạt động. Ở mỗi cách thức đo sẽ có phương pháp đo riêng.

1.1.2 Đại lượng không điện

Đây là những đại lượng hiện hữu trong đời sống của chúng ta (nhiệt độ, áp suất, trọng lượng, độ ẩm, độ pH, nồng độ, tốc độ, gia tốc ...).

Trong hệ thống tự động hóa công nghiệp ngày nay, để đo lường và điều khiển tự động hóa các đại lượng không điện nói trên, chúng ta cần chuyển đổi các đại lượng nói trên sang đại lượng điện bằng những bộ *chuyển đổi* hoặc cảm biến hoàn chỉnh, thuận lợi, chính xác, tin cậy hơn trong lĩnh vực đo lường và điều khiển tự động.

1.2 CHỨC NĂNG VÀ ĐẶC TÍNH CỦA THIẾT BỊ ĐO LƯỜNG

1.2.1 Chức năng của thiết bị đo

Hầu hết các thiết bị đo có chức năng cung cấp cho chúng ta kết quả đo được đại lượng đang khảo sát. Kết quả này được chỉ thị hoặc được ghi lại trong suốt quá trình đo, hoặc được dùng để tự động điều khiển đại lượng đang được đo.

Ví dụ: trong hệ thống điều khiển nhiệt độ, máy đo nhiệt độ có nhiệm vụ đo và ghi lại kết quả đo của hệ thống đang hoạt động và giúp cho hệ thống xử lý và điều khiển tự động theo thông số nhiệt độ.

Nói chung thiết bị đo lường có chức năng quan trọng là kiểm tra sự hoạt động của hệ thống tự động điều khiển, nghĩa là *đo lường quá trình* trong công nghiệp (*industrial process measurements*). Đây cũng là môn học trong ngành tự động hóa.

1.2.2 Đặc tính của thiết bị đo lường

Với nhiều cách thức đo đa dạng khác nhau cho nhiều đại lượng có những đặc tính riêng biệt, chúng ta có thể phân biệt hai dạng thiết bị đo phụ thuộc vào đặc tính một cách tổng quát.

Ví dụ: Để đo độ *dẫn điện* chúng ta dùng thiết bị đo dòng điện thuần túy điện là micro ampe-kế hoặc mili ampe-kế. Nhưng nếu chúng ta dùng thiết bị đo có sự kết hợp mạch điện tử để đo độ dẫn điện thì phải biến đổi dòng điện đo thành điện áp đo. Sau đó mạch đo điện tử đo dòng điện dưới dạng điện áp. Như vậy giữa *thiết bị đo điện* và *thiết bị đo điện tử* có đặc tính khác nhau.

Có loại thiết bị đo, kết quả được chỉ thị bằng *kim chỉ thị* (thiết bị đo dạng analog), có loại bằng *hiện số* (thiết bị đo dạng digital). Hiện nay loại sau đang thông dụng. Đây cũng là một đặc tính phân biệt của thiết bị đo.

Ngoài ra thiết bị đo lường còn mang đặc tính của một thiết bị điện tử (nếu là thiết bị đo điện tử) như: tổng trở nhập cao, độ nhạy cao, hệ số khuếch đại ổn định và có độ tin cậy đảm bảo cho kết quả đo. Còn có thêm chức năng, truyền và nhận tín hiệu *đo lường từ xa* (*telemetry*). Đây cũng là môn học quan trọng trong lĩnh vực *đo lường điều khiển từ xa*.

1.3 CHUẨN HÓA TRONG ĐO LƯỜNG

1.3.1 Cấp chuẩn hóa

Khi sử dụng thiết bị đo lường, chúng ta mong muốn thiết bị được *chuẩn hóa* (*calibrate*) khi được xuất xưởng nghĩa là đã được chuẩn hóa với thiết bị *đo lường chuẩn* (*standard*). Việc chuẩn hóa thiết bị đo lường được xác định theo bốn cấp như sau:

Cấp 1: Chuẩn quốc tế (*International standard*) - các thiết bị đo lường cấp chuẩn quốc tế được thực hiện định chuẩn tại *Trung tâm đo lường quốc tế* đặt tại Paris (Pháp), các thiết bị đo lường chuẩn hóa cấp 1 này theo định kỳ được đánh giá và kiểm tra lại theo trị số đo tuyết đối của các đơn vị cơ bản vật lý được hội nghị quốc tế về đo lường giới thiệu và chấp nhận.

Cấp 2: Chuẩn quốc gia - các thiết bị đo lường tại các *Viện định chuẩn quốc gia* ở các quốc gia khác nhau trên thế giới đã được chuẩn hóa theo *chuẩn quốc tế* và chúng cũng được chuẩn hóa tại các *viện định chuẩn quốc gia*.

Cấp 3: Chuẩn khu vực - trong một quốc gia có thể có nhiều *trung tâm định chuẩn* cho từng khu vực (*standard zone center*). Các thiết bị đo lường tại các trung tâm này đương nhiên phải mang *chuẩn quốc gia* (*National standard*). Những thiết bị đo lường được định chuẩn tại các trung tâm định chuẩn này sẽ mang *chuẩn khu vực* (*zone standard*).

Cấp 4: Chuẩn phòng thí nghiệm - trong từng khu vực sẽ có những phòng thí nghiệm được công nhận để chuẩn hóa các thiết bị được dùng trong sản xuất công nghiệp. Như vậy các thiết bị được chuẩn hóa tại các phòng thí nghiệm

này sẽ có *chuẩn hóa* của phòng thí nghiệm. Do đó các thiết bị đo lường khi được sản xuất ra được chuẩn hóa tại cấp nào thì sẽ mang chất lượng tiêu chuẩn đo lường của cấp đó.

Còn các thiết bị đo lường tại các trung tâm đo lường, viện định chuẩn quốc gia phải được chuẩn hóa và mang tiêu chuẩn cấp cao hơn. Ví dụ phòng thí nghiệm phải trang bị các thiết bị đo lường có tiêu chuẩn của *chuẩn vùng* hoặc *chuẩn quốc gia*, còn các thiết bị đo lường tại viện định chuẩn quốc gia thì phải có *chuẩn quốc tế*. Ngoài ra theo định kỳ được đặt ra phải được kiểm tra và chuẩn hóa lại các thiết bị đo lường.

1.3.2 Cấp chính xác của thiết bị đo

Sau khi được xuất xưởng chế tạo, thiết bị đo lường sẽ được kiểm nghiệm chất lượng, được chuẩn hóa theo cấp tương ứng như đã đề cập ở trên và sẽ được phòng kiểm nghiệm định cho *cấp chính xác* sau khi được xác định sai số (như định nghĩa dưới đây) cho từng tầm đo của thiết bị. Do đó khi sử dụng thiết bị đo lường, chúng ta nên quan tâm đến *cấp chính xác* của thiết bị đo được ghi trên máy đo hoặc trong *sổ tay kỹ thuật* của thiết bị đo. Để từ cấp chính xác này chúng ta sẽ đánh giá được sai số của kết quả đo.

Ví dụ: Một vôn-kế có ghi *cấp chính xác* là 1, nghĩa là giới hạn sai số của nó cho tầm đo là 1%.

1.4 CHẤT LƯỢNG CỦA ĐO LƯỜNG

1.4.1 Đặc tính của cách thức đo

Sự hiểu biết về đặc tính của cách thức đo rất cần thiết cho phần lớn việc chọn lựa thiết bị đo thích hợp cho công việc đo lường. Nó bao gồm hai đặc tính cơ bản.

- **Đặc tính tĩnh (static)**
- **Đặc tính động (dynamic)**

1.4.2 Đặc tính tĩnh (static)

Tổng quát, đặc tính tĩnh của thiết bị đo là đặc tính có được khi thiết bị đo được sử dụng đo các đại lượng có điều kiện không thay đổi trong một quá trình đo. Tất cả các đặc tính tĩnh của cách thức đo có được nhờ một quá trình định chuẩn.

Một số đặc tính được diễn tả như sau:

- Mức độ chính xác (sai số)
- Độ phân giải: khoảng chia nhỏ nhất để thiết bị đo đáp ứng được
- Độ nhạy
- Độ sai biệt của trị số đo được với trị số tin cậy được
- Trị số đo chấp nhận được qua xác suất của trị số đo.

1.4.3 Định nghĩa sai số trong đo lường

Đo lường là sự so sánh đại lượng chưa biết (đại lượng đo) với đại lượng được chuẩn hóa (đại lượng mẫu hoặc đại lượng chuẩn). Như vậy công việc đo lường là nối thiết bị đo vào hệ thống được khảo sát, kết quả đo các đại lượng cần thiết thu được trên thiết bị đo.

Trong thực tế khó xác định trị số thực các đại lượng đo. Vì vậy trị số đo được cho bằng thiết bị đo, được gọi là trị số tin cậy được (*expected value*). Bất kỳ đại lượng đo nào cũng bị ảnh hưởng bởi nhiều thông số. Do đó kết quả đo ít khi phản ánh đúng trị số tin cậy được. Cho nên có nhiều hệ số (*factor*) ảnh hưởng trong đo lường liên quan đến thiết bị đo. Ngoài ra có những hệ số khác liên quan đến con người sử dụng thiết bị đo. Như vậy độ chính xác của thiết bị đo được diễn tả dưới hình thức sai số.

1.4.4 Các loại sai số

$$\text{Sai số tuyệt đối: } e = Y_n - X_n$$

e - sai số tuyệt đối; Y_n - trị số tin cậy được; X_n - trị số đo được

$$\text{Sai số tương đối (tính theo \%): } e_r = \left| \frac{Y_n - X_n}{Y_n} \right| \times 100\%$$

$$\text{Độ chính xác tương đối: } A = 1 - \left| \frac{Y_n - X_n}{Y_n} \right|$$

Độ chính xác tính theo \%: $a = 100\% - e_r = (A \times 100\%)$

Ví dụ: điện áp hai đầu điện trở có trị số *tin cậy* được là 50V. Dùng vôn-kế đo được 49V.

Như vậy sai số tuyệt đối: $e = 1\text{V}$

$$\text{Sai số tương đối: } e_r = \frac{1\text{V}}{50\text{V}} \cdot 100\% = 2\%$$

Độ chính xác: $A = 1 - 0,02 = 0,98, a = 98\% = 100\% - 2\%$

$$\text{Tính chính xác (precision): } 1 - \left| \frac{X_n - \bar{X}_n}{\bar{X}_n} \right|$$

\bar{X}_n - trị số trung bình của n lần đo.

Ví dụ: $X_n = 97$, trị số đo được

$\bar{X}_n = 101,1$ trị số trung bình của 10 lần đo

$$\text{Tính chính xác của cách đo: } 1 - \left| \frac{97 - 101,1}{101,1} \right| = 96\% \Rightarrow 96\%$$

Sai số chủ quan: Một cách tổng quát sai số này do lỗi lầm của người sử dụng thiết bị đo và phụ thuộc vào việc đọc sai kết quả, hoặc ghi sai, hoặc sử dụng sai không đúng theo qui trình hoạt động.

Sai số hệ thống (systematic error) phụ thuộc vào thiết bị đo và điều kiện môi trường.

Sai số do thiết bị đo: các phần tử của thiết bị đo, có sai số do công nghệ chế tạo, sự lão hóa do sử dụng. Giảm sai số này cần phải bảo trì định kỳ cho thiết bị đo.

Sai số do ảnh hưởng điều kiện môi trường: cụ thể như nhiệt độ tăng cao, áp suất tăng, độ ẩm tăng, điện trường hoặc từ trường tăng đều ảnh hưởng đến sai số của thiết bị đo lường. Giảm sai số này bằng cách giữ sao cho điều kiện môi trường ít thay đổi hoặc bù chính (*compensation*) đối với nhiệt độ và độ ẩm. Và dùng biện pháp bảo vệ chống ảnh hưởng tĩnh điện và từ trường nhiễu. Sai số hệ thống chịu ảnh hưởng khác nhau ở trạng thái tĩnh và trạng thái động:

- *Ở trạng thái tĩnh* sai số hệ thống phụ thuộc vào giới hạn của thiết bị đo hoặc do qui luật vật lý chi phối sự hoạt động của nó.

- *Ở trạng thái động* sai số hệ thống do sự không đáp ứng theo tốc độ thay đổi nhanh theo đại lượng đo.

Sai số ngẫu nhiên (random error): Ngoài sự hiện diện sai số do chủ quan trong cách thức đo và sai số hệ thống thì còn lại là *sai số ngẫu nhiên*. Thông thường sai số ngẫu nhiên được thu thập từ một số lớn những ảnh hưởng nhiễu

được tính toán trong đo lường có độ chính xác cao. Sai số ngẫu nhiên thường được phân tích bằng phương pháp thống kê.

Ví dụ: giả sử điện áp được đo bằng một vôn-kế được đọc cách khoảng 1 phút. Mặc dù vôn-kế hoạt động trong điều kiện môi trường không thay đổi, được chuẩn hóa trước khi đo và đại lượng điện áp đó xem như không thay đổi, thì trị số đọc của vôn-kế vẫn có thay đổi *chút ít*. Sự thay đổi này không được hiệu chỉnh bởi bất kỳ phương pháp định chuẩn nào khác, vì do sai số ngẫu nhiên gây ra.

1.4.5 Các nguồn sai số

Thiết bị đo không đo được trị số chính xác vì những lý do sau:

- Không nắm vững những thông số đo và điều kiện thiết kế
- Thiết kế nhiều khuyết điểm
- Thiết bị đo hoạt động không ổn định
- Bảo trì thiết bị đo kém
- Do người vận hành thiết bị đo không đúng
- Do những giới hạn của thiết kế

1.4.6 Đặc tính động

Một số rất ít thiết bị đo đáp ứng tức thời ngay với đại lượng đo thay đổi. Phần lớn nó *đáp ứng chậm* hoặc không theo kịp sự thay đổi của đại lượng đo. Sự chậm chạp này phụ thuộc đặc tính của thiết bị đo như tính quán tính, nhiệt dung hoặc điện dung... được thể hiện qua thời gian trễ của thiết bị đo. Do đó sự hoạt động ở trạng thái động hoặc trạng thái giao thời của thiết bị đo cũng quan trọng như trạng thái tĩnh.

Đối với đại lượng đo có ba dạng thay đổi như sau:

- Thay đổi có dạng hàm bước theo thời gian
- Thay đổi có dạng hàm tuyến tính theo thời gian
- Thay đổi có dạng hàm điều hòa theo thời gian.

Đặc tuyến động của thiết bị đo

- Tốc độ đáp ứng
- Độ trung thực
- Tính trễ
- Sai số động.

\Rightarrow **Dáp ứng động ở bậc zero (bậc không)**

Một cách tổng quát tín hiệu đo và tín hiệu ra của thiết bị đo được diễn tả theo phương trình sau đây:

$$\begin{aligned} a_n \frac{d^n x_o}{dt^n} + a_{n-1} \frac{d^{n-1} x_o}{dt^{n-1}} + \dots + a_1 \frac{dx_o}{dt} + a_0 x_o &= \\ = b_m \frac{d^m x_i}{dt^m} + b_{m-1} \frac{d^{m-1} x_i}{dt^{m-1}} + \dots + b_1 \frac{dx_i}{dt} + b_0 x_o & \end{aligned}$$

x_o - tín hiệu ra của thiết bị đo; x_i - tín hiệu đo

$a_0 \div a_n$ - thông số của hệ thống đo giả sử không đổi

$b_0 \div b_n$ - thông số của hệ thống đo giả sử không đổi.

Khi a_o, b_o khác không ($\neq 0$) thì các giá trị a, b khác bằng không ($= 0$).

Phương trình vi phân còn lại:

$$a_0 x_o = b_0 x_i; \quad x_o = \frac{b_0}{a_0} x_i; \quad K = \frac{b_0}{a_0}: \text{độ nhạy tĩnh}$$

Như vậy đây là trường hợp đại lượng vào và đại lượng ra không phụ thuộc vào thời gian, là điều kiện lý tưởng của trạng thái động. Ví dụ như sự thay đổi vị trí con chạy của biến trờ tuyến tính theo đại lượng đo.

\Rightarrow **Dáp ứng động ở bậc nhất**

Khi các giá trị a_1, b_1, a_o, b_o khác không ($\neq 0$), còn các giá trị còn lại bằng không ($= 0$): $a_1 \frac{dx_o}{dt} + a_0 x_o = b_0 x_i$.

Bất kỳ thiết bị đo nào thỏa phương trình này được gọi là *thiết bị bậc nhất*.

Chia hai vế phương trình trên cho a_o ta có:

$$\frac{a_1}{a_o} \frac{dx_o}{dt} + x_o = \frac{b_0}{a_o} x_i. \text{ Hoặc: } \tau \frac{dx_o}{dt} + x_o = \frac{b_0}{a_o} x_i; \quad (\tau D + 1)x_o = Kx_i$$

Với: $D = \frac{dt}{dt}$; $\tau = \frac{a_1}{a_o}$: thời hằng; $K = \frac{b_0}{a_o}$: độ nhạy tĩnh

Thời hằng τ có đơn vị là thời gian, trong khi đó độ nhạy tĩnh K có đơn vị là đơn vị của tín hiệu ra/tín hiệu vào.

Hàm truyền hoạt động (*transfer function*) của bất kỳ thiết bị *đo bậc nhất*:

$$\frac{x_o}{x_i} = \frac{K}{\tau D + 1}$$

Ví dụ cụ thể của thiết bị *đo bậc nhất* là nhiệt kế thủy ngân.

⇒ *Đáp ứng động của thiết bị bậc hai, được định nghĩa theo phương trình*

$$a_2 \frac{d^2 x_o}{dt^2} + a_1 \frac{dx_o}{dt} + a_o x_o = b_o x_i$$

Phương trình trên được rút gọn lại: $(\frac{D^2}{\omega_n^2} + 2\frac{\xi}{\omega_n} D + 1)x_o = Kx_i$

với: $\omega_n = \sqrt{a_o/a_2}$ - tần số không đệm tự nhiên, *radian/thời gian*

$$\xi - \text{tỉ số đệm}; \quad \xi = \frac{a_1}{\sqrt{a_o a_2}}; \quad K = \frac{b_o}{a_o}$$

Bất kỳ thiết bị đo nào thỏa phương trình này gọi là thiết bị đo bậc hai.

□ Thông thường loại thiết bị đo bậc nhất chỉ hoạt động đo với đại lượng có năng lượng.

Ví dụ: loại cân dùng lò xo đàn hồi (lực kế) có năng lượng là cơ năng, nhiệt kế có năng lượng là nhiệt năng.

□ Loại thiết bị đo bậc hai có sự trao đổi giữa hai dạng năng lượng.

Ví dụ: năng lượng tĩnh điện và từ điện trong mạch LC, cụ thể như chỉ thị cơ cấu điện từ kết hợp với mạch khuếch đại.

1.4.7 Phân tích thống kê đo lường

Sự phân tích thống kê các số liệu đo rất quan trọng, từ đó chúng ta xác định các kết quả đo không chắc chắn (có sai số lớn) sau cùng. Để cho sự phân tích thống kê có ý nghĩa, phần lớn số liệu đo lường đòi hỏi *sai số hệ thống* phải nhỏ so với *sai số ngẫu nhiên*.

Khi đo một đại lượng bất kỳ nào mà biết kết quả đo phụ thuộc vào nhiều yếu tố, thì những yếu tố này đều quan trọng cả. Theo điều kiện lý tưởng, mức độ ảnh hưởng của các thông số phải được xác định để cho việc đo lường nếu có sai số phải được giải thích và hiểu được nguyên nhân gây ra sai số. Nhưng sự phân tích sai số không được tách khỏi số liệu đã được cố định trong các kết quả đo lường.

Ý nghĩa số học của sự đo nhiều lần: hầu hết giá trị đo chấp nhận được và biến số đo có ý nghĩa số học của thiết bị đo đọc được ở nhiều lần đo. Sự gần đúng tốt nhất có thể có khi số lần đọc của cùng một đại lượng đo phải lớn. Ý nghĩa số học của n lần đo được xác định cho biến số x được cho bằng biểu thức:

$$\bar{x} = \frac{x_1 + x_2 + \dots + x_n}{n}$$

trong đó: \bar{x} - trị trung bình; x_n - trị số x lần đo thứ n ; n - số lần đo.

Độ lệch

$$\text{Độ lệch lần đo thứ 1: } d_1 = x_1 - \bar{x}$$

$$\text{Độ lệch lần đo thứ 2: } d_2 = x_2 - \bar{x}$$

.....

$$\text{Độ lệch lần đo thứ } n: \quad d_n = x_n - \bar{x}$$

Ví dụ: $x_1 = 50,1\Omega$; $x_2 = 49,7\Omega$; $x_3 = 49,6\Omega$; $x_4 = 50,2\Omega$

$$\text{Ý nghĩa số học: } \bar{x} = \frac{50,1 + 49,7 + 49,6 + 50,2}{4} = \frac{199,6}{4} = 49,9$$

Độ lệch của từng giá trị đo:

$$d_1 = 50,1 - 49,9 = 0,2; \quad d_2 = 49,7 - 49,9 = -0,2$$

$$d_3 = 49,6 - 49,9 = -0,3; \quad d_4 = 50,2 - 49,9 = 0,3$$

Tổng đại số của các độ lệch: $d_{tot} = 0,2 - 0,2 + 0,3 - 0,3 = 0$

Như vậy khi tổng đại số các độ lệch của các lần đo so với ý nghĩa số học \bar{x} bằng không thì không có sự phân tán của các kết quả đo xung quanh \bar{x} .

Độ lệch trung bình: có thể dùng như một biểu thức của tính chính xác của thiết bị đo.

Độ lệch trung bình càng nhỏ thì biểu thức đo càng chính xác.

Biểu thức độ lệch trung bình D được xác định:

$$D = \frac{|d_1| + |d_2| + \dots + |d_n|}{n}$$

Ví dụ: D của các trị số đo của ví dụ trước

$$D = \frac{|0,2| + |-0,2| + |-0,3| + |0,3|}{4}$$

Độ lệch chuẩn (standard deviation): độ lệch chuẩn σ của một số lần đo là các giá trị độ lệch quanh giá trị trung bình được xác định như sau:

Độ lệch chuẩn cho n lần đo: $\sigma = \sqrt{\frac{d_1^2 + d_2^2 + \dots + d_n^2}{n}}$ (số lần đo $n \geq 30$).

Nếu số lần đo nhỏ hơn 30 lần ($n < 30$) thì độ lệch chuẩn được diễn tả

$$\sigma = \sqrt{\frac{d_1^2 + d_2^2 + \dots + d_n^2}{n-1}}$$

Ví dụ: Độ lệch chuẩn của các số đo cụ thể trên

$$\sigma = \sqrt{\frac{(0,2)^2 + (-0,2)^2 + (-0,3)^2 + (0,3)^2}{4-1}} = \sqrt{\frac{0,26}{3}} = 0,294$$

Độ lệch chuẩn này rất quan trọng, trong sự phân tích thống kê số liệu đo. Nếu giảm được độ lệch chuẩn sẽ có hiệu quả trong việc cải tiến kết quả đo lường.

Sai số ngẫu nhiên: thường được tính trên cơ sở đường phân bố Gauss của độ lệch chuẩn:

$$e_{Rd} = \frac{2}{3} \sqrt{\frac{d_1^2 + d_2^2 + \dots + d_n^2}{n(n-1)}}$$

và giới hạn của sai số ngẫu nhiên: $\lim(e_{Rd}) = 4,5e_{Rd}$

Những trị số nào có độ lệch vượt quá giới hạn của sai số ngẫu nhiên đều được loại bỏ.

Ví dụ: kết quả đo điện trở được thực hiện trong tám lần đo như sau.

$$R_1 = 116,2\Omega; R_2 = 118,2\Omega; R_3 = 116,5\Omega; R_4 = 117,0\Omega$$

$$R_5 = 118,2\Omega; R_6 = 118,4\Omega; R_7 = 117,8\Omega; R_8 = 118,1\Omega$$

$$\text{Trị trung bình của điện trở: } \bar{R} = \frac{R_1 + R_2 + \dots + R_8}{8} = 117,8 \Omega$$

Độ lệch của các lần đo:

$$d_1 = -1,6\Omega; d_2 = 0,4\Omega; d_3 = 0,7\Omega; d_4 = -0,8\Omega$$

$$d_5 = 0,4\Omega; d_6 = 0,6\Omega; d_7 = 0,0\Omega; d_8 = 0,3\Omega$$

Sai số ngẫu nhiên của các kết quả đo

$$e_{Rd} = \frac{2}{3} \sqrt{\frac{(-1,6)^2 + \dots + (0,3)^2}{8 \times 7}} = 0,19\Omega \approx 0,2\Omega$$

Giới hạn của sai số ngẫu nhiên: $\lim(e_{Rd}) = 0,9\Omega$

Như vậy kết quả đo lân một có độ lệch tuyệt đối:

$$|d_1| = 1,6 > 0,9 \text{ sẽ bị loại bỏ}$$

1.4.8 Giới hạn của sai số

Phần lớn các nhà sản xuất thường xác định sai số của thiết bị đo bằng *sai số tầm đo*, đây cũng là *giới hạn sai số* của thiết bị đo (cấp chính xác của thiết bị đo) mặc dù trong thực tế sai số thực của thiết bị đo có thể nhỏ hơn giá trị này.

Ví dụ 1: vôn-kế có sai số tầm đo $\pm 2\%$ ở tầm đo (thang đo) 300V. Tính giới hạn sai số dùng để đo điện áp 120V.

$$\text{Sai số tầm đo: } 300V \times 0,02 = 6V$$

$$\text{Do đó giới hạn sai số ở } 120V: 6/120 \times 100\% = 5\%$$

Ví dụ 2: vôn-kế và ampe-kế được dùng để xác định công suất tiêu thụ của điện trở. Cả hai thiết bị này đều ở sai số tầm đo $\pm 1\%$. Nếu vôn-kế được đọc ở tầm đo 150V có chỉ thị 80V và ampe-kế được đọc ở tầm đo 100mA là 80mA.

$$\text{Giới hạn của sai số tầm đo của vôn-kế: } 150V \times 1\% = 1,5V$$

$$\text{Giới hạn sai số ở trị số } 80V: 1,5/80 \times 100\% = 1,86\%$$

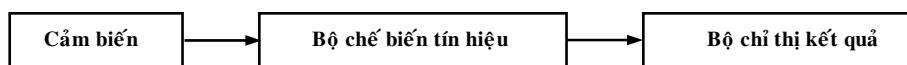
$$\text{Giới hạn của sai số tầm đo ampe-kế: } 100mA \times 0,01 = 1mA$$

$$\text{Giới hạn sai số ở trị số đọc: } 1/70 \times 100\% = 1,43\%$$

$$\text{Giới hạn sai số của công suất đo được: } 1,86\% + 1,43\% = 3,29\%$$

1.5 NHỮNG PHẦN TỬ TRONG THIẾT BỊ ĐO ĐIỆN TỬ

Tổng quát thiết bị đo điện tử thường được cấu tạo bằng ba phần như sau:



Cảm biến: Phần tử biến đổi các đại lượng đo không điện sang đại lượng điện. Bộ phận này chỉ có khi thiết bị đo điện tử đo các đại lượng trong công nghiệp

Bộ chế biến tín hiệu: Biến đổi tín hiệu điện (điện áp, dòng điện, điện trở,...) cho phù hợp với bộ chỉ kết quả. Bộ này bao gồm mạch phân tần đo, mạch điều hợp tổng trở, mạch khuếch đại tín hiệu đủ lớn cho bộ chỉ thị kết quả. Có thể là mạch cầu đo (đổi với đại lượng điện trở, điện cảm, điện dung). Ngoài ra trong bộ chế biến có thể là mạch lọc, mạch chỉnh lưu, mạch sửa dạng tín hiệu, mạch chopper, mạch biến đổi tín hiệu A/D ...

Bộ chỉ thị kết quả: Trong phần này kết quả đo được chỉ thị dưới hai hình thức kim hoặc số hiển thị.

1.6 LỢI ÍCH THIẾT THỰC CỦA ĐIỆN TỬ TRONG ĐO LƯỜNG

Trong quá khứ lợi ích thiết thực của cơ học và quang học đã giúp ích cho kỹ thuật đo lường. Hiện tại và tương lai điện tử đã và đóng góp rất nhiều trong sự phát triển cho thiết bị đo lường. Các đại lượng điện và đại lượng không điện được cảm biến đo lường chuyển đổi sang tín hiệu điện. Các tín hiệu này được các mạch điện tử chế biến cho phù hợp với mạch đo, mạch thu thập dữ liệu đo lường. Ngày nay chúng ta không còn nghi ngờ gì về những ưu điểm của mạch điện tử:

- Độ nhạy thích hợp
- Tiêu thụ năng lượng ít
- Tốc độ đáp ứng nhanh
- Dễ tương thích truyền tín hiệu đi xa
- Độ tin cậy cao
- Độ linh hoạt cao phù hợp với các vấn đề đo lường.

1.7 SỰ CHỌN LỰA, TÍNH CẨN THẬN VÀ CÁCH DÙNG THIẾT BỊ ĐO

Có những thiết bị đo rất tốt, rất chính xác nhưng sẽ cho kết quả sai hoặc không chính xác nếu chúng ta không biết sử dụng hoặc sử dụng không đúng qui định của thiết bị đo. Do đó chúng ta phải quan tâm đến cách thức và qui trình sử dụng của từng thiết bị đo. Ngoài ra chúng ta phải chọn thiết bị đo cho phù hợp với đại lượng đo.

Phần lớn các thiết bị đo có độ nhạy cao tương đối phức tạp, đòi hỏi chúng ta cẩn thận khi sử dụng nếu không dễ gây ra hư hỏng hoặc làm cho thiết bị đo không chính xác. Vậy bắt buộc người sử dụng phải đọc và tìm hiểu kỹ đặc tính, cách sử dụng, qui trình hoạt động của máy trước khi cho máy bắt đầu hoạt động. Lựa chọn thiết bị đo phải phù hợp với mức độ chính xác theo yêu

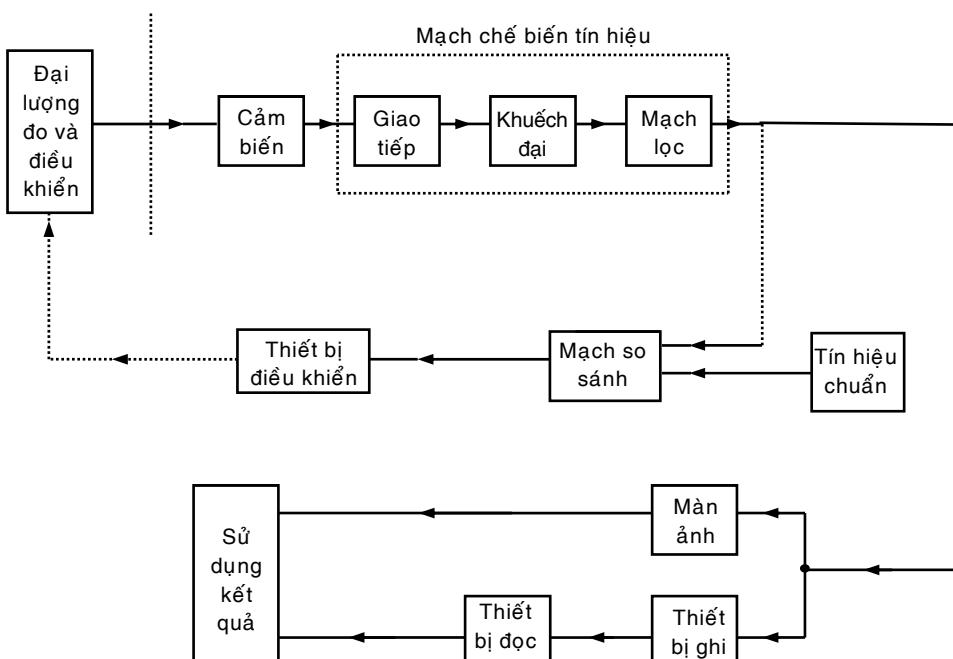
cầu của đại lượng đo. Vì mức độ chính xác và độ nhạy của thiết bị có liên quan trực tiếp với giá tiền của máy. Nghĩa là máy càng chính xác, càng nhạy thì giá càng cao. Nhiều khi theo yêu cầu của đại lượng đo không cần dùng đến thiết bị quá nhạy hoặc độ chính xác quá cao. Khi sử dụng máy phải cẩn thận, tránh nguy hiểm cho máy do vì quá tầm đo hoặc bị chấn động cơ học (do di chuyển hoặc va chạm cơ học ...), thường đối với thiết bị chỉ kim. Ngoài ra phải lưu ý đến điều kiện của tải phối hợp với thiết bị đo (đối với thiết bị đo điện tử) ví dụ như: đáp ứng tần số, phối hợp trở kháng ... Nếu không thỏa các điều kiện này cũng gây ra sai số thiết bị đo.

Để tránh hư hỏng cho thiết bị đo, luôn luôn đòi hỏi người sử dụng máy phải đọc qua và hiểu rõ *Tài liệu chỉ dẫn* (*Service manual*) cho những thiết bị đo mới sử dụng lần đầu.

1.8 HỆ THỐNG ĐO LUỒNG

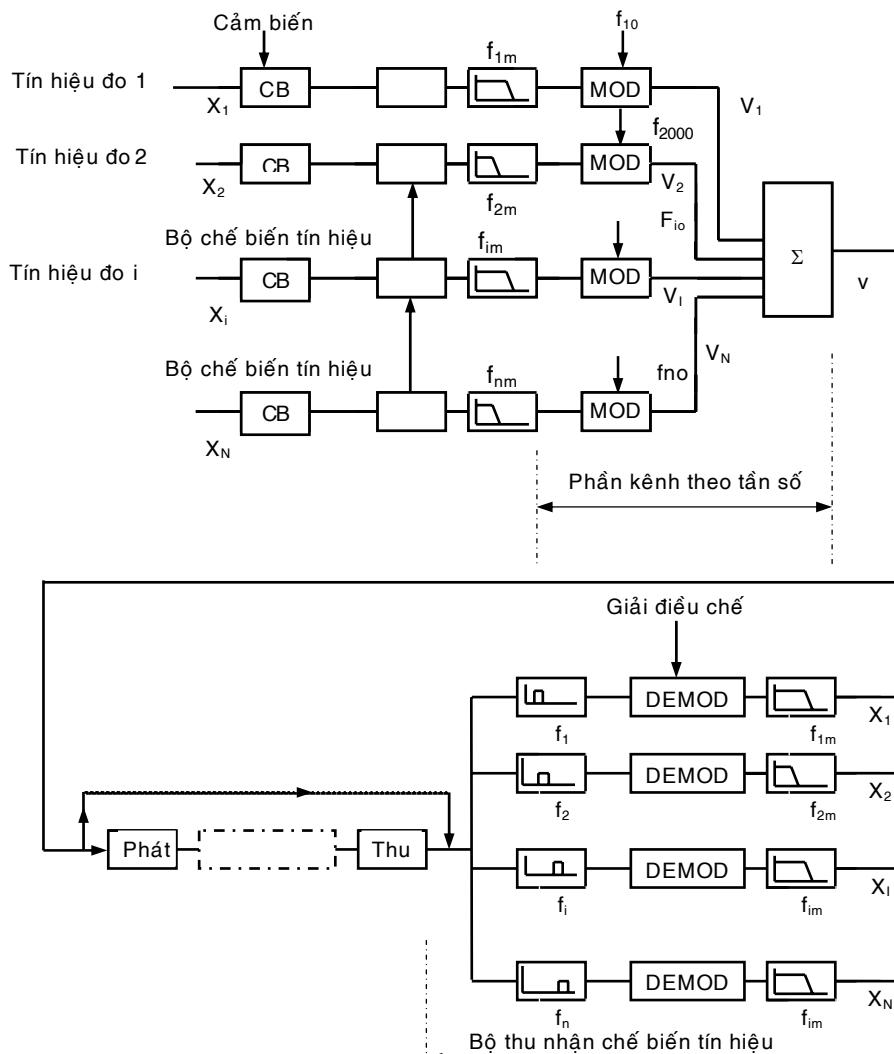
1.8.1 Hệ thống đo lường dạng tương đồng (*Analog*)

Hệ thống đo lường một kênh (H.1.1)



Hình 1.1: Hệ thống đo lường tương đồng

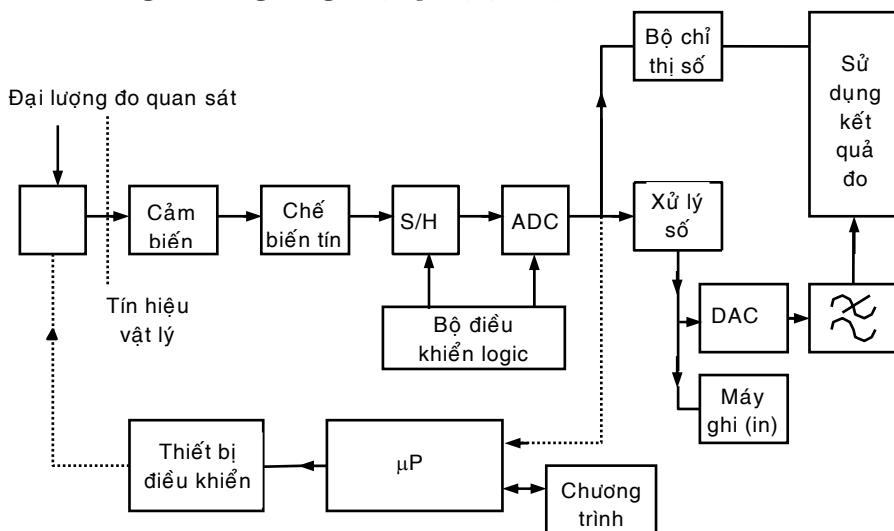
Tín hiệu đo được tạo ra từ cảm biến đo lường (*transducer*) do đại lượng đo tác động vào. Tín hiệu này đi qua mạch chế biến tín hiệu (*signal conditioner*). Sau đó đi vào bộ phận trình bày kết quả (*display*) và thiết bị ghi (*record*) để cho bộ phận đọc kết quả sử dụng ngay kết quả đo này. Ngoài ra hệ thống đo lường còn liên kết với hệ thống điều khiển tự động bằng cách lấy tín hiệu đo ở ngõ ra của mạch chế biến tín hiệu đưa qua mạch so sánh với tín hiệu chuẩn để điều khiển đối tượng (đại lượng) đang được đo. Ví dụ: đại lượng đo là nhiệt độ thì đối tượng điều khiển cũng là nhiệt độ.



Hình 1.2: Hệ thống đo lường tương đồng nhiều kênh

Hệ thống đo lường nhiều kênh: Trường hợp cần đo nhiều đại lượng thì mỗi đại lượng đo ở một kênh. Như vậy sau mỗi tín hiệu đo được lấy ra từ mạch chế biến tín hiệu ở mỗi kênh sẽ đưa qua mạch phân kênh (*multiplexer*) để được sắp xếp tuần tự truyền đi trên cùng một hệ thống dẫn truyền (dây dẫn hay vô tuyến). Để có sự phân biệt các đại lượng đo, trước khi đưa vào mạch phân kênh cần phải mã hóa hoặc điều chế (*Modulation – MOD*) theo tần số khác nhau (ví dụ như $f_{10}, f_{20}...$) cho mỗi tín hiệu của đại lượng đo. Tại nơi nhận tín hiệu lại phải giải mã hoặc giải điều chế (*demodulation – DEMOD*) để lấy lại từng tín hiệu đo. Đây cũng là hình thức đo lường từ xa (*telemetry*) cho nhiều đại lượng đo.

1.8.2 Hệ thống đo lường dạng số (Digital) (H.1.3).



Hình 1.3: Hệ thống đo lường số kết hợp với μP

Thiết bị vi xử lý (*Microprocessor - μP*) tham gia vào hệ thống đo lường nhằm mục đích xử lý nhanh tín hiệu đo, chống nhiễu tốt hơn so với tín hiệu đo ở dạng Analog khi truyền đi xa. Cách ly tốt hơn và dễ thực hiện hơn nếu dùng phương pháp quang học (dùng cách thức ghép bằng tín hiệu quang (*opto – coupler*)). Đây cũng là hình thức thường dùng hiện nay.

Với sự phát triển của máy tính cá nhân (PC), hệ thống đo lường dùng kỹ thuật số dùng PC để tự động hóa hệ thống đo lường ở mức độ cao hơn và thuận lợi hơn khi sử dụng. Do đó, chúng ta bước sang một giai đoạn mới *Máy tính hóa thiết bị đo lường* (*computerized instrumentation*).

Trong hệ thống đo lường dùng kỹ thuật số, tín hiệu dạng Analog được chuyển đổi sang tín hiệu dạng số (*digital*) bằng các mạch ADC (*analog digital*

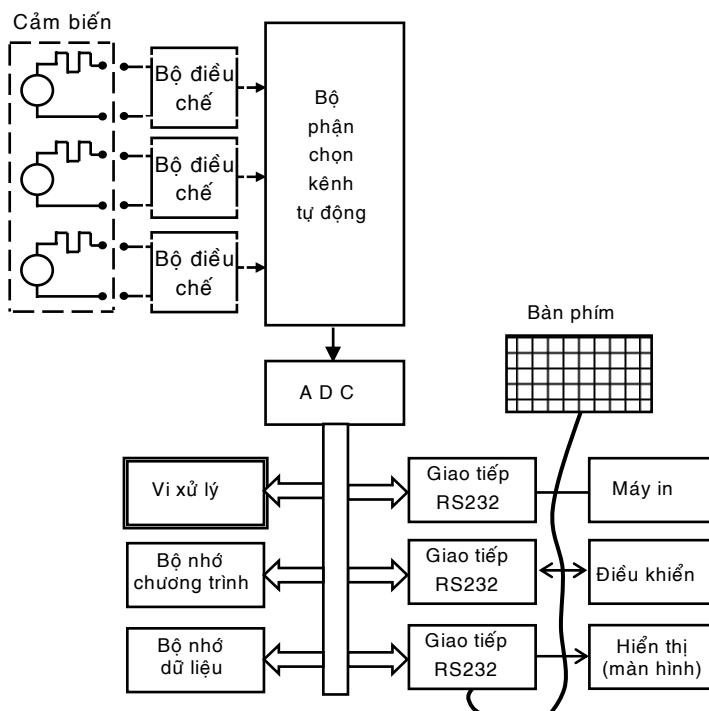
(converter) để cho bộ vi xử lý (μ P) hoạt động, sau đó muốn có dạng Analog để sử dụng, chúng ta dùng mạch DAC (*digital analog converter*) để chuyển đổi lại.

Ngoài ra hệ thống đo lường dạng số còn có ưu điểm là sự hoạt động thông minh nhờ vào chương trình phần mềm (*software*) cài đặt vào máy tính để xử lý tín hiệu đo lường và điều khiển hệ thống tự động hóa.

1.8.3 Tính linh hoạt trong sự điều khiển từ xa thiết bị đo lường

Hệ thống đo lường dạng số nhờ sự kết nối với máy tính, đã điều khiển từ xa (*remote*) các chức năng của hệ thống đo lường bằng cách sử dụng các đường truyền số liệu (BUS) của bộ vi xử lý (μ P). Hệ thống được trình bày ở hình 1.4.

Như máy tính PC điều khiển thiết bị đo lường thông qua bộ giao tiếp chuẩn (*interface bus standard*) thông dụng là IE 488 hoặc RS232C. Phần giao tiếp truyền số đa năng (GPIB - *general purpose interface bus*) được thiết kế để thực hiện sự điều khiển. (Chúng ta sẽ đề cập đến vấn đề này ở một chương sau).



Hình 1.4: Hệ thống thu nhận và xử lý dữ liệu lieää duong maich giao tieap RS232

Chương 2

ĐO ĐIỆN ÁP VÀ DÒNG ĐIỆN

2.1 CƠ CẤU CHỈ THỊ KIM

Hiện nay cơ cấu chỉ thị kết quả vẫn còn dùng kim chỉ thị kết quả. Do đó chúng tôi trình bày tóm lược cấu tạo và nguyên lý hoạt động của các cơ cấu dạng này được dùng trong vôn-kế và ampe-kế. Còn loại cơ cấu chỉ thị kết quả bằng số sẽ được đề cập đến trong phần thiết bị đo lường chỉ thị số.

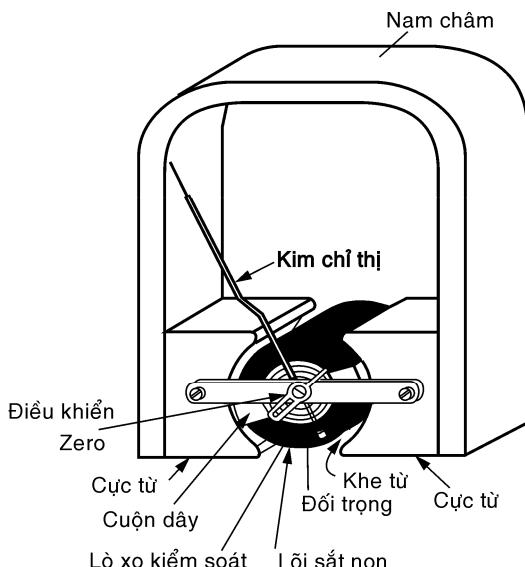
2.1.1 Cơ cấu từ điện (*cơ cấu D'ARSONVAL*)

Cơ cấu này được ký hiệu trên mặt máy đo như sau:

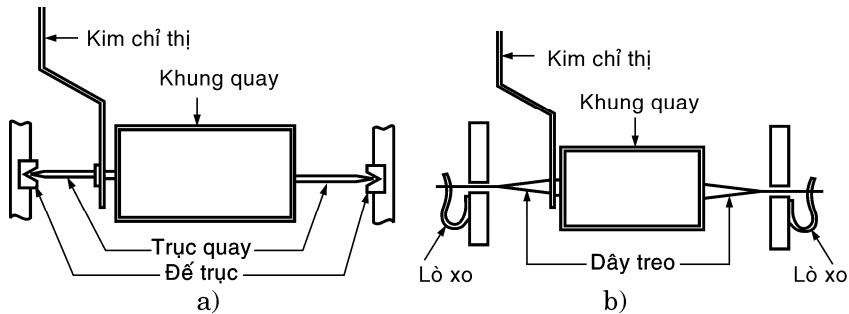
tên gọi tắt theo tiếng Anh PMMC (*permanent magnet moving coil*) có cấu tạo và nguyên lý hoạt động như sau.

Cấu tạo (xem H.2.1).

Khung quay: khung bằng nhôm hình chữ nhật, trên khung có quấn dây đồng bọc lớp cách điện nhỏ. Toàn bộ khối lượng khung quay phải càng nhỏ càng tốt để sao cho mômen quán tính càng nhỏ. Toàn bộ khung quay được đặt trên trục quay hoặc treo bởi dây treo (*taut band*) (H.2.2).



Hình 2.1: Cơ cấu chæ thø töø ñieän

**Hình 2.2: a) Khung quay – Loại trực quay****b) Khung quay – Loại dây treo**

Nam châm vĩnh cửu: khung quay được đặt giữa hai cực từ NS của nam châm vĩnh cửu.

Lõi sắt non hình trụ nằm trong khung quay tương đối đều.

Kim chỉ thị được gắn chặt trên trục quay hoặc dây treo. Phía sau kim chỉ thị có mang đối trọng để sao cho trọng tâm của kim chỉ thị nằm trên trục quay hoặc dây treo.

Lò xo kiểm soát hoặc dây treo có nhiệm vụ kéo kim chỉ thị về vị trí ban đầu.

Nguyên lý hoạt động (xem H.2.3)

Khi có dòng điện đi vào cuộn dây, trên khung dây sẽ xuất hiện lực điện từ F :

$$F = N.B.l.I \quad (2.1)$$

trong đó: N - số vòng dây quấn của cuộn dây

B - mật độ từ thông xuyên qua cuộn dây

l - chiều cao của khung; I - cường độ dòng điện.

Mômen quay T_q của lực điện từ F :

$$T_q = F \cdot W = N.B.l.W.I \quad (2.2)$$

trong đó W là bề rộng của khung quay

Mômen quay T_q của lực điện từ F : $T_q = F \cdot W = N.B.l.W.I$

$K_q = N.B.l.W$ - hệ số tỉ lệ với sự cấu tạo của cơ cấu là hằng số:

$$T_q = K_q I$$

Đồng thời khi đó lò xo (hoặc dây treo) tạo ra mômen cản T_c khi kim chỉ thị quay do mômen quay T_q làm xoắn lò xo kiểm soát hoặc dây treo:

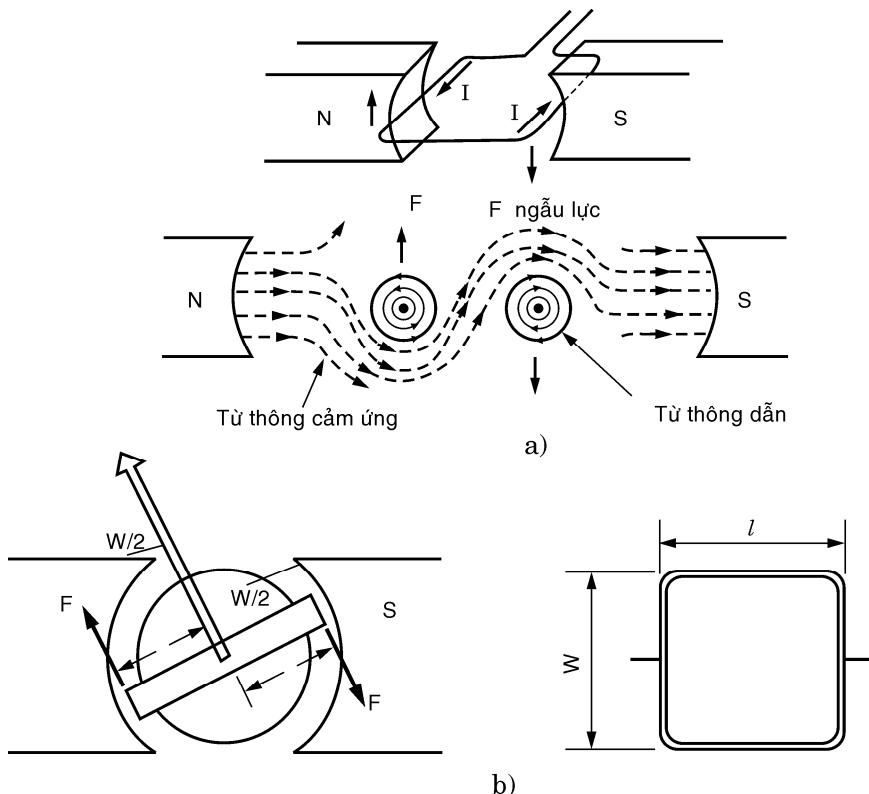
$$T_c = K_c \theta \quad (2.3)$$

K_c - hằng số xoắn của lò xo kiểm soát hoặc dây treo

θ - góc quay của kim chỉ thị. Tại góc quay θ_i của kim chỉ thị đứng yên:

$$T_q = T_c; \quad K_q I = K_c \theta_i; \quad \theta_i = \frac{K_q}{K_c} I = KI \quad (2.4)$$

Góc quay θ_i tỉ lệ tuyến tính với dòng điện I



Hình 2.3: Nguyên lý hoạt động

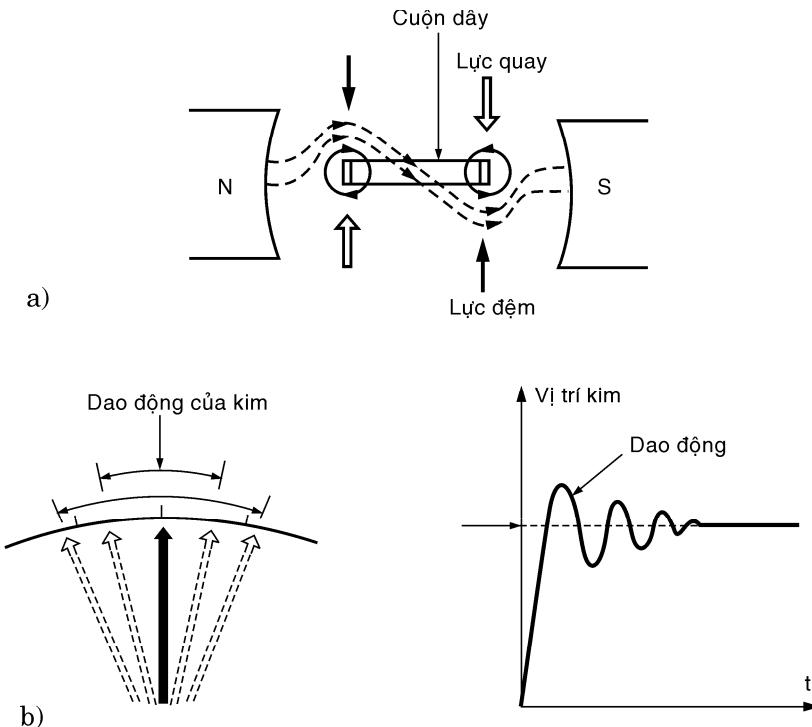
Sự đệm (cản dịu) cho kim chỉ thị

Khi kim chỉ thị di chuyển dưới tác động của T_q cũng xuất hiện mômen đệm T_d do dòng điện ứng phát sinh trong cuộn dây do từ thông xuyên qua khung quay thay đổi tức thời (H.2.4):

$$i_d = \frac{e_d}{R_i + R_D} \quad (2.5)$$

trong đó: e_d : - sức điện động ứng; R_i - điện trở của khung quay

R_D : - điện trở đệm nối hai cuộn dây.



Hình 2.4: Sự đệm cho kim chỉ thị

☐ Trường hợp $R_D \rightarrow \infty$, không có mômen đệm, kim chỉ thị dễ bị dao động quanh điểm sẽ dừng lại của kim, vì cuộn dây bị hở mạch không có dòng i_d trong khi vẫn có e_d .

☐ Trường hợp $R_D \rightarrow 0$, mômen đệm lớn nhất có sự đệm chật làm cho sự di chuyển của kim rất chậm và khó khăn hơn khi bị dao động cơ học do di chuyển cơ cấu đo.

☐ Trường hợp $R_D = R_{DC}$, điện trở đệm đúng mức, kim chỉ thị di chuyển nhanh khi có dòng điện vào và không bị dao động quanh vị trí dừng của kim.

Theo phương trình chuyển động của kim:

$$J \frac{d^2\theta}{dt^2} + D \frac{d\theta}{dt} + T_c \theta = 0 \quad (2.6)$$

trong đó: J - mômen quán tính của khung quay và kim

D - hằng số đệm của hệ thống

T_c - mômen cản do lò xo kiểm soát hoặc dây xoắn.

Để có sự đệm đúng mức thì D phải có điều kiện:

$$D = D_o = 2\sqrt{J \cdot T_c} \quad (2.7)$$

Nếu $D > D_o$: đệm quá mức; $D < D_o$: đệm yếu

Người ta chứng minh được rằng hằng số đệm: $D = \frac{K'_D}{R}$

với $R = R_I + R_D$; $K'_D = R \cdot B \cdot I \cdot W$

Đặc tính cơ cấu từ điện

Độ nhạy dòng điện của cơ cấu điện từ: độ nhạy của dòng điện được định nghĩa:

$$S_I = \frac{d\theta}{dl} = \frac{K_I}{K_C} \quad (2.8)$$

nghĩa là độ nhạy của dòng điện tương ứng với sự biến thiên của góc quay khi có sự biến đổi của dòng điện. Trong thực tế, người ta thường dùng I_{max} (dòng điện tối đa) của cơ cấu chỉ thị để xác định độ nhạy nghĩa là độ nhạy càng lớn khi I_{max} càng nhỏ vì θ_{max} (góc quay lớn nhất) của cơ cấu chỉ thị giống nhau (vào khoảng # 105°). Tăng độ nhạy cơ cấu bằng cách tăng K_q giảm K_C .

Độ nhạy điện áp cơ cấu: $S_V = \frac{d\theta}{dv}$. Nếu điện trở nội của khung quay là R_i thì:

$$S_V = \frac{d\theta}{R_i dl} = \frac{1}{R_i} S_i \quad (2.9)$$

Do đó có sự quan hệ giữa độ nhạy điện áp và dòng điện.

Ưu điểm: cơ cấu chỉ thị từ điện có ưu điểm so với những cơ cấu khác nhờ những điểm sau đây:

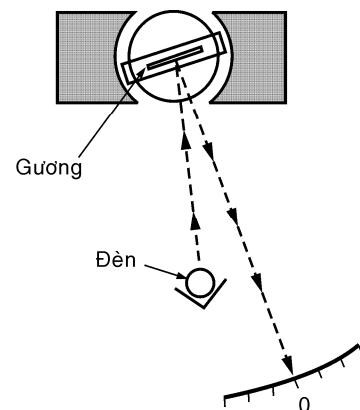
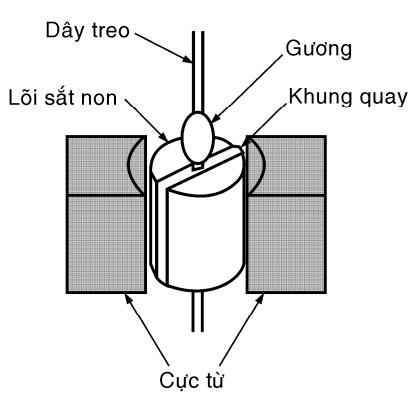
- Từ trường của cơ cấu do nam châm vĩnh cửu tạo ra mạnh, ít bị ảnh hưởng của từ trường bên ngoài;
- Công suất tiêu thụ nhỏ tùy theo dòng I_{max} cùng cơ cấu có thể từ 25 μW ÷ 200 μW ;
- Có độ chính xác cao, có thể đạt được cấp chính xác 0,5%;
- Vì góc quay tuyến tính theo dòng điện cho nên thang đo có khoảng chia đều đặn.

Khuynh điểm:

- Cuộn dây của khung quay thường chịu đựng quá tải một lượng nhỏ nên thường dễ bị hư hỏng nếu dòng điện quá mức đi qua;
- Chỉ sử dụng dòng điện một chiều, không hoạt động ở dòng điện xoay chiều;
- Đối với khung quay có dây xoắn dễ hư hỏng khi bị chấn động mạnh hoặc di chuyển quá mức giới hạn, do đó cần *dèm quá mức* khi cho cơ cấu ngưng hoạt động.

Ứng dụng

- Cơ cấu chỉ thị kim thường được dùng rộng rãi trong lĩnh vực đo lường.
- Điện kế gương quay (H.2.5): Khung quay mang gương phản chiếu và hệ thống quang học chiếu tia sáng vào gương và đốm sáng tròn ghi kết quả dòng điện đi qua. Kết quả được ghi trên thước chia hoặc trên giấy nhạy quang (trong các thiết bị ghi).



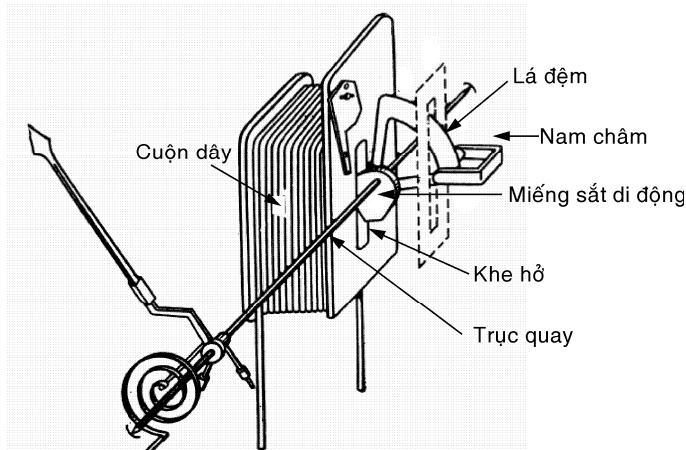
Hình 2.5

2.1.2 Cơ cấu điện từ

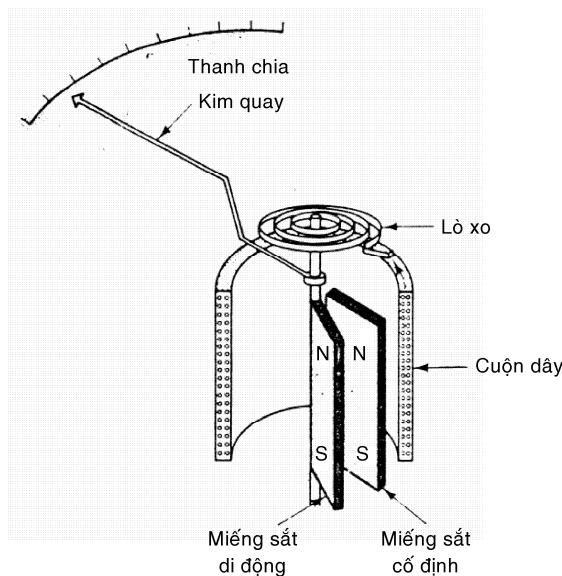
Còn gọi là cơ cấu miếng sắt di động (*moving iron*). Ký hiệu \S .

Cấu tạo: có hai loại lực hút và lực đẩy.

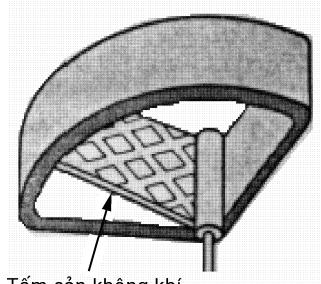
- Loại lực hút (H.2.6)
- Loại lực đẩy (H.2.7).



Hình 2.6: Cơ cấu điện từ loại hút



Hình 2.7: Cơ cấu điện từ loại đẩy



Hình 2.8: Cô caú ñeäm

Cả hai đều có cuộn dây cố định và miếng sắt di động gắn trên trục quay mang kim chỉ thị. Riêng lực đẩy có mang thêm miếng sắt cố định gắn ở mặt trong của cuộn dây.

Trục quay cũng có lo xo kiểm soát và cơ cấu chỉ thị có đệm bằng sức cản không khí (H.2.8).

Nguyên lý hoạt động

Cuộn dây cố định có dòng điện I (một chiều hoặc xoay chiều) lực từ động F tạo ra lực hút hoặc lực đẩy cho miếng sắt di động.

$$F = nI(AT) \quad (\text{ampe-vòng}). \quad (2.10)$$

trong đó: N - số vòng quay; I - cường độ dòng.

Hoặc góc quay của kim chỉ thị được chứng minh:

$$\theta_i = \frac{K_q}{K_C} I^2 \quad (2.11)$$

với: I - dòng điện DC hoặc AC trị hiệu dụng (RMS).

Như vậy thang đo của cơ cấu điện từ không tuyến tính như thang đo của cơ cấu điện tử.

Việc đệm cho cơ cấu điện từ

- Tiêu thụ năng lượng nhiều hơn cơ cấu điện tử.
- Có hiện tượng từ dư trong lá sắt non cho nên kém chính xác hơn.
- Tính trễ làm tăng sai số khi dùng ở dòng điện xoay chiều. Giảm tính trễ bằng cách giảm nhỏ miếng sắt di động hoặc chọn mật độ từ thông B để cho hiện tượng trễ trong miếng sắt nhỏ đi. Cho nên có sự dung hòa giữa từ thông và miếng sắt di động.
 - Ảnh hưởng của tín hiệu xoay chiều: do có thành phần cuộn cảm L của cuộn dây cố định cho nên khi tần số tín hiệu tăng, tổng trở $Z = L\omega = 2\pi fL$ của cuộn dây tăng không thích hợp với tín hiệu đo có khoảng tần số thay đổi lớn. Ngoài ra dòng điện xoáy trên miếng sắt di động tăng khi tần số tín hiệu tăng.
 - Do từ trường tạo ra bởi cuộn dây có trị số nhỏ cho nên dễ bị ảnh hưởng bởi từ trường nhiễu, cần phải bảo vệ bằng cách *chắn từ* cho cơ cấu
 - Công nghệ chế tạo dễ hơn cơ cấu từ điện
 - Chỉ được dùng trong lĩnh vực điện công nghiệp
 - Chịu sự quá tải cao
 - Những cơ cấu điện từ dùng trong vôn-kế hoặc ampe-kế thường có

thông số kỹ thuật: điện cảm cuộn dây 1Henry; điện trở $20\Omega/V$; lực từ động $F = 300$ ampe vòng; ngẫu lực xoắn bằng 5% khối lượng di chuyển.

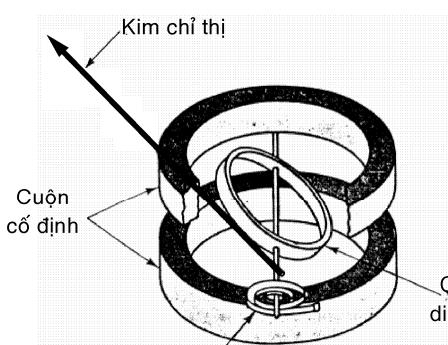
2.1.3 Cơ cấu điện động

Là cơ cấu có sự phối hợp giữa cơ cấu điện từ (khung quay mang kim chỉ thị) và cơ cấu điện từ (cuộn dây cố định tạo từ trường cho khung quay).

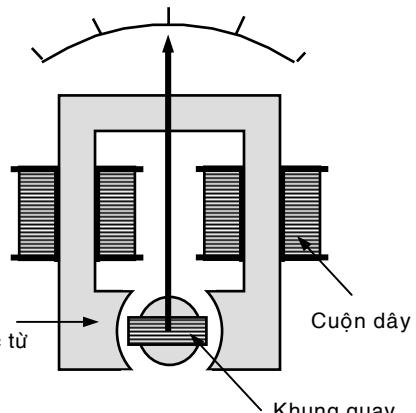
Ký hiệu trên cơ cấu  hoặc Cơ cấu sắt điện động. 

Cấu tạo (H.2.9): cơ cấu điện động gồm có cuộn dây cố định và cuộn dây di động (khung quay). Thông thường cuộn dây di động không có lõi sắt non tránh được hiện tượng từ trễ và dòng điện xoáy. Cuộn dây di động nằm trong vùng ảnh hưởng từ trường tạo ra bởi cuộn dây cố định, nếu cuộn dây cố định quấn trên lõi sắt từ là cơ cấu sắt điện động (H.2.10).

Nguyên lý hoạt động: khi có dòng điện I_1, I_2 (một chiều hoặc xoay chiều) đi



Hình 2.9: Cơ cấu nieän noäng



Hình 2.10: Cơ caú saét nieän noäng

vào cuộn dây di động và cố định sẽ tạo ra mômen quay:

$$T_q = K_q I_1 I_2 \text{ (dòng DC)} \quad (2.12)$$

hoặc: $T_q = K_q \frac{1}{T} \int_0^T i_1 \cdot i_2 dt \text{ (dòng AC)}$

Vậy góc quay: $\theta = \frac{K_q}{K_c} I_1 I_2$ (2.13)

Hoặc: $\theta = \frac{K_q}{K_c} \left[\frac{1}{T} \int_0^T i_1 i_2 dt \right]$

K_c - hằng số xoắn của lò xo kiểm soát hoặc dây treo.

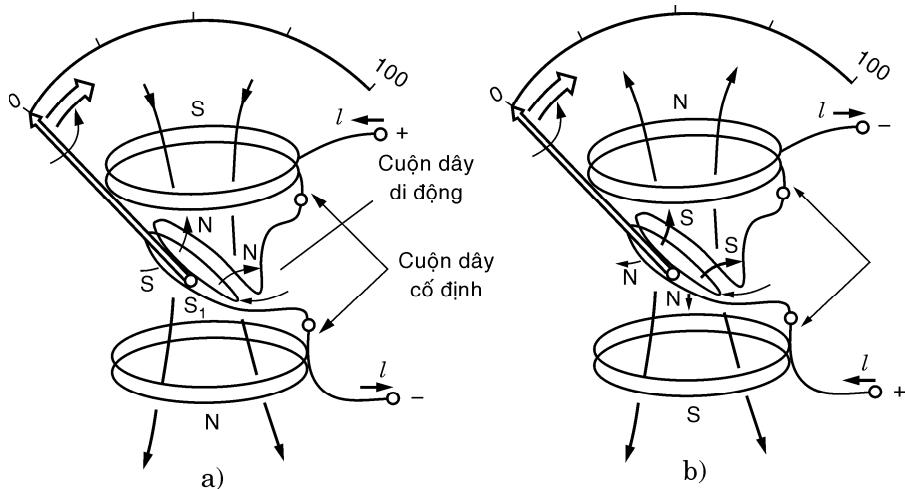
Để cho thang đo tuyến tính theo I_1, I_2 thì K_a/K_c là hằng số.

Đặc điểm của cơ cấu

- Cơ cấu điện động có ưu điểm và khuyết điểm của cơ cấu từ điện và điện từ

- Thường dùng làm bộ chỉ thị cho volt-kế hoặc ampe-kế và watt-kế
 - Watt-kế có công suất tải một pha và ba pha dùng cơ cấu sắt điện động
 - Ngoài ra người ta chế tạo ra tỉ số kế điện động để dùng làm cosφ-kế (đề cập ở phần đo hệ số công suất)
 - Chiều quay của cơ cấu điện động (sắt điện động) được xác định trước khi hoạt động với dòng điện xoay chiều (H.2.11).

Như vậy, khi kim chỉ thị của cơ cấu bị *lệch ngược* thì phải hoán đổi cực tính của cuộn dây để kim chỉ thị quay thuận.



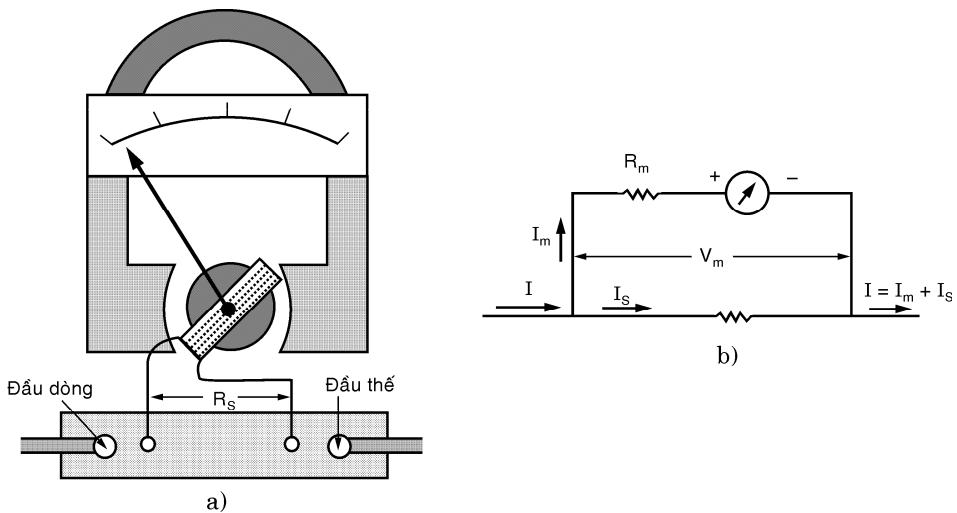
Hình 2.11: Chiều quay của kim chỉ thị không phụ thuộc vào chiều dòng điện

2.2 ĐO DÒNG MỘT CHIỀU (DC) VÀ XOAY CHIỀU (AC)

2.2.1 Đo dòng DC

Nguyên lý đo: cả ba cơ cấu chỉ thị đã nói ở trên đều hoạt động với dòng DC cho nên được dùng làm bộ chỉ thị ampe-kế DC. Nhưng cần phải mở rộng tầm đo (*Range*) cho thích hợp.

Mở rộng tầm đo: để cho ampe-kế có nhiều tầm đo thích hợp, mạch đo phải có sự mở rộng tầm đo cho từng loại cơ cấu chỉ thị.



Hình 2.12: Mạch đo dòng

Mở rộng tầm đo cho cơ cấu từ điện. Dùng điện trở shunt (H.2.12).

$$\text{Đòng điện đo: } I = I_m + I_s \quad (2.14)$$

trong đó: \$I_m\$ - dòng điện qua cơ cấu chỉ thị.

\$I_s\$ - dòng điện đi qua điện trở shunt.

Điện trở shunt \$R_s\$ được xác định:

$$R_s = \frac{I_{\max} R_m}{I_t - I_{\max}} \quad (2.15)$$

trong đó: \$R_m\$ - điện trở nội của cơ cấu chỉ thị.

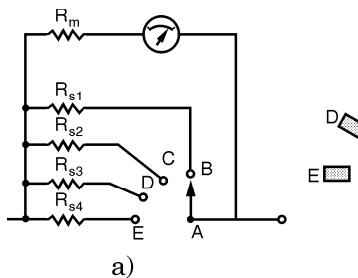
\$I_{\max}\$ - dòng điện tối đa của cơ cấu chỉ thị.

\$I_t\$ - dòng điện tối đa của tầm đo.

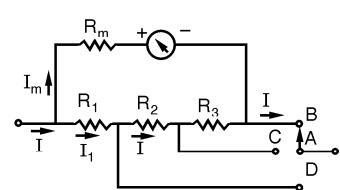
Ví dụ 2.1: \$R_s = \frac{50\mu A \times 1K\Omega}{(1mA - 50\mu A)}\$, với \$I_{\max} = 50\mu A\$; \$R_m = 1k\Omega\$; \$I_t = 1mA\$

$$R_s = \frac{(50 \times 10^{-6} \times 10^3)V}{(950 \times 10^{-6})A} = \frac{5}{95} \times 10^3 \text{ ohm} = 52,6 \Omega \text{ (ohm)}$$

Đối với ampe-kế có nhiều tầm đo thì dùng nhiều điện trở shunt, mỗi tầm đo có một điện trở shunt, khi chuyển tầm đo là chuyển điện trở shunt (H.2.13).



Hình 2.13: Mạch đo dòng có nhiều tầm đo



Hình 2.14: Mạch shunt Ayrton

Hoặc dùng cách chuyển tầm theo kiểu shunt Ayrton (H.2.14).

Mạch đo kiểu shunt Ayrton có 3 tầm đo B, C, D. Khi khóa A ở vị trí B (tầm đo nhỏ nhất).

$$\text{Điện trở shunt: } R_{SB} = R_1 + R_2 + R_3$$

$$\text{Ở vị trí C: } R_{SC} = R_1 + R_2$$

Còn R_3 nối tiếp với cơ cấu chỉ thị.

$$\text{Ở vị trí D: } R_{SD} = R_1$$

Còn $R_2 + R_3$ nối tiếp với cơ cấu chỉ thị.

Ví dụ 2.2: $R_m = 1k\Omega$; I_{\max} của cơ cấu $50\mu\text{A}$. Xác định ba tầm đo:

B ($1mA$); C ($10mA$); D($100mA$) cho R_1 , R_2 , R_3

Giải: Ở tầm B ($1mA$):

$$(1mA - 50\mu\text{A})(R_1 + R_2 + R_3) = 1k\Omega \times 50\mu\text{A}$$

$$(R_1 + R_2 + R_3) = \frac{50 \times 10^{-3}}{950 \times 10^{-6}} = 52,6\Omega$$

Ở tầm C ($10mA$):

$$R_1 + R_2 = \frac{(1k\Omega + R_3)50 \times 10^{-6} A}{9950 \times 10^{-6} A} = \frac{(1k\Omega + R_3)}{199}$$

Ở tầm D ($100mA$):

$$R_1 = \frac{(1k\Omega + R_2 + R_3)50 \times 10^{-6}}{99950 \times 10^{-6} A}; R_1 = \frac{1k\Omega + R_2 + R_3}{1999}$$

$$\text{Thay vào ta được: } R_1 + R_2 = \frac{1k\Omega + R_3}{199} = 52,6\Omega - R_3$$

$$\text{Suy ra: } R_3 = \frac{(10.467,4 - 1000)\Omega}{200} = 47,337\Omega$$

$$R_1 = \frac{1000\Omega + 52,6\Omega - R_1}{1999} = \frac{1052,6\Omega}{2000} = 0,526\Omega$$

Còn $R_2 = 52,6 - (47,337 + 0,526) = 4,737 \text{ ohm}$

Đáp số: $R_1 = 0,526 \text{ ohm}; R_2 = 4,737 \text{ ohm}; R_3 = 47,337 \text{ ohm}.$

Mở rộng tầm đo cho cơ cấu điện từ: thay đổi số vòng dây quấn cho cuộn dây cố định với lực từ động F không đổi:

$$F = n_1 I_1 = n_2 I_2 = n_3 I_3 = \dots$$

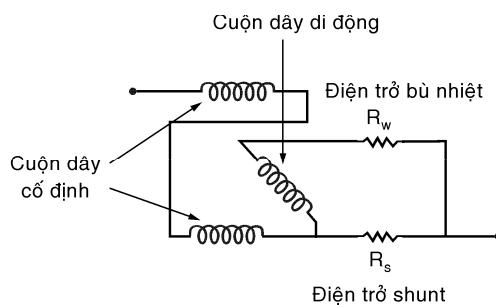
Ví dụ: $F = 300 \text{ Ampe}$ vòng cho ba tầm đo; $I_1 = 1A$; $I_2 = 5A$; $I_3 = 10A$.

Khi đó $n_1 = 300$ vòng cho tầm đo $I_1 = 1A$

$n_2 = 60$ vòng cho tầm đo $I_2 = 5A$

$n_3 = 30$ vòng cho tầm đo $I_3 = 10A$.

Mở rộng tầm đo cho cơ cấu điện động: Trong trường hợp ampe-kế dùng cơ cấu chỉ thị điện động (sắt điện động) được mắc như hình 2.15 thì mở rộng tầm đo bằng cách mắc điện trở shunt song song với cuộn dây di động (như cơ cấu từ điện) trong khi cuộn cố định được mắc nối tiếp với cuộn dây di động. Cách tính toán điện trở shunt cũng giống như ampe-kế cơ cấu từ điện.



Hình 2.15: Ampe-kế cơ cấu điện động

2.2.2 Đo dòng AC

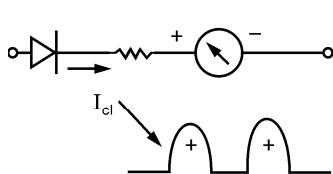
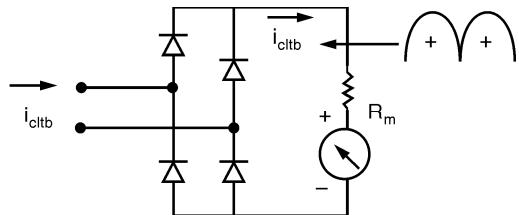
Nguyên lý đo: Cơ cấu điện từ và cơ cấu điện động đều hoạt động được với dòng AC. Do đó có thể dùng cơ cấu này trực tiếp và mở rộng tầm đo dòng như đã nói ở trên. Riêng cơ cấu điện từ khi dùng phải biến đổi dòng AC thành dòng DC. Ngoài ra, do tính chính xác của cơ cấu điện từ nên cơ cấu này dùng rất nhiều (thông dụng) trong phần lớn ampe-kế (trong máy đo vạn năng Multimeter còn gọi V.O.M.).

Dùng cơ cấu từ điện đo dòng AC

Dùng phương pháp chỉnh lưu bằng diod (H.2.16).

Dòng điện qua diod nối tiếp với cơ cấu từ điện là dòng điện xoay chiều đã chỉnh lưu thành dòng DC. Trị trung bình của dòng điện chỉnh lưu:

$$I_{cltb}^* = \frac{1}{T} \int_0^T i_{cl} dt \leq I_{\max} \quad (2.16)$$

**Hình 2.16***Dòng chỉnh lưu qua cơ cấu***Hình 2.17***Cầu chỉnh lưu diod*

Ví dụ: Dòng điện AC: $V_{AC} = I_m \sin \omega t$

Khi đó: $i_{cl} = I_m \sin \omega t$: ($0 \leq t \leq \frac{T}{2}$); $i_{cl} = 0$: ($\frac{T}{2} \leq t \leq T$).

Vậy: $I_{cltb} = 0,318I_m = 0,318\sqrt{2}I_{hd}$ (tín hiệu sin). Trường hợp dòng điện AC có dạng bất kỳ thì I_{cltb} có trị số phụ thuộc vào dạng và tần số của tín hiệu. Cụ thể dòng: $i_{AC} = 2(mA) \sin 100\pi t$

thì dòng: $i_{cltb} = 0,318 \times 2(mA) = 0,636(mA)$

Cầu diod (H.2.17). Dòng điện xoay chiều được chỉnh lưu ở hai bán kí, khi đó trị chỉnh lưu trung bình: $I_{cltb} = \frac{2}{T} \int i_{cl} dt$.

Ví dụ: $I_{AC} = I_m \sin \omega t$; $I_{cltb} = 2 \times 0,318I_m = 0,636I_m$

Dùng phương pháp biến đổi nhiệt điện: Bộ biến đổi nhiệt điện (H.2.18) gồm có dây điện trở được đốt nóng nhờ tri hiệu dụng của dòng điện xoay chiều cần đo. Cặp nhiệt điện (*thermocouple*) được cung cấp nhiệt lượng do dòng điện này sẽ tạo ra điện áp một chiều (dòng điện DC) cho cơ cấu điện tử:

$$E_o(DC) = K_T R I_{hd}^2 \quad (2.17)$$

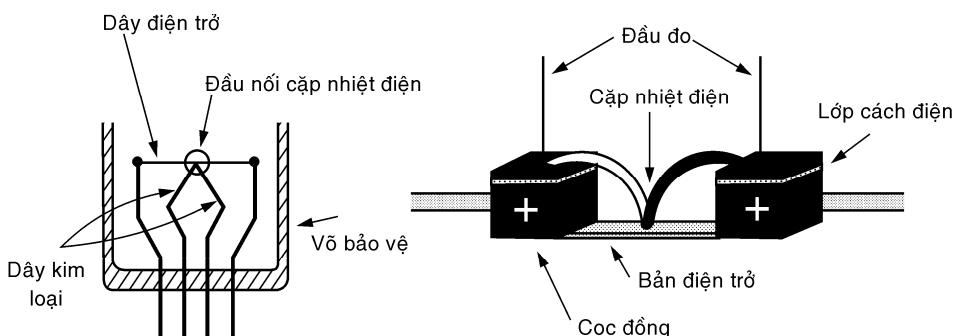
với: I_{hd} - trị số hiệu dụng của dòng điện AC

R - điện trở của dây đốt nóng

K_T - hằng số tỉ lệ của bộ biến đổi nhiệt điện.

Khi sử dụng bộ biến đổi chỉ dùng trong khoảng tuyến tính của đặc tuyến E_o theo I_{hd} . Phương pháp biến đổi nhiệt điện có ưu điểm là không phụ thuộc vào dạng của tín hiệu AC và tần số. Do đó để cho dòng điện có tần số cao, dạng bất kỳ, người ta thường dùng bộ biến đổi này.

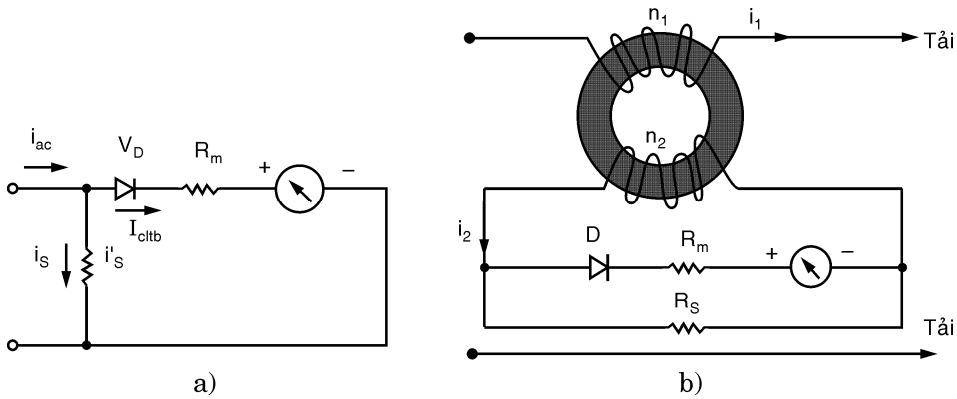
Ngoài ra khi dùng bộ biến đổi này còn phải quan tâm đến sự thay đổi của nhiệt độ môi trường xung quanh, sự tăng nhiệt lượng khi dòng điện đo được duy trì sẽ làm cho E_o tăng theo thời gian (vấn đề bão chính hay bù nhiệt này sẽ đề cập đến trong phần thiết bị đo điện tử vôn-kế điện tử dùng bộ biến đổi nhiệt điện).



Hình 2.18: Bộ biến đổi nhiệt điện

Mở rộng tầm đo

Dùng điện trở shunt cho diod và cơ cấu từ điện (H.2.19a). Diod mắc nối tiếp với cơ cấu điện từ, do đó có dòng I_{cltb} qua cơ cấu, còn dòng điện xoay chiều lại qua điện trở shunt.



Hình 2.19: a) Mạch đo dòng AC có điện trở shunt
b) Mạch đo dùng biến dòng

Ví dụ: i_{AC}

Dòng xoay chiều dạng sin có trị hiệu dụng I_{hd} , khi đi qua diod sẽ có:
 $i_{cltb} = 0,318\sqrt{2}I_{hd} \leq I_{max}$, với I_{max} - dòng tối đa của cơ cấu.

Khi đó dòng điện xoay chiều còn lại sẽ qua điện trở shunt.

Cụ thể: $I_{max} = 1mA$; $I_{no} = 100mA$ (RMS trị hiệu dụng).

Trị hiệu dụng của dòng điện xoay chiều qua điện trở shunt:

$$I_S = I_{no} - \frac{I_{max}}{0,318\sqrt{2}} = (100mA - \frac{1mA}{0,318\sqrt{2}}) RMS \\ = (100mA - 2,2mA) RMS = 97,8mA (RMS)$$

Điện trở shunt được xác định: $R_S = \frac{V_D + R_m(I_{max}/0,318\sqrt{2})}{I_S(RMS)}$

Ví dụ: $V_D = 0,6V$; $R_m = 50\Omega$; $I_{max} = 1mA$; $I_{no} = 100mA$ (RMS)

Áp dụng công thức trên: $R_S = \frac{0,6V + 50\Omega \times 2,22mA(RMS)}{97,8mA(RMS)} = 7,269\Omega$

Dùng biến dòng (H.2.19b). Theo nguyên lý hoạt động của biến dòng là phải có sự cân bằng của lực từ động phần sơ cấp và thứ cấp của biến dòng: $n_1 i_1 = n_2 i_2$

Ví dụ: $n_1 = 5$ vòng; $n_2 = 100$ vòng; $i_1 = 10A$ (RMS)

$$i_2 = \frac{n_1}{n_2} i_1; \quad i_2 = \frac{5}{100} 10A = 0,5 (RMS)$$

Khi sử dụng biến dòng nên lưu ý đừng để hở phần thứ cấp biến dòng khi phần sơ cấp có dòng điện. Kẹp đo dòng điện (clamp ammeter) là một ứng dụng của biến dòng với cơ cấu điện từ và diod chỉnh lưu có phần mở rộng tầm đo (H.2.20).

2.2.3 Ảnh hưởng của ampe-kế trên mạch đo

Mỗi ampe-kế đều có nội trở riêng của nó và có thể thay đổi theo mỗi tầm đo.

Ví dụ: Ampe-kế cơ cấu điện từ ở tầm đo $1mA$, có nội trở $R_A = R_m // R_{S2} = 1000\Omega // 5,2\Omega = 5,17\Omega$. Do đó tầm đo càng lớn nội trở R_A (nội trở ampe-kế) càng nhỏ. Việc mắc nối tiếp nó với điện trở tải cần đo dòng điện sẽ ảnh hưởng đến mạch đo. Nếu nội trở ampe-kế rất nhỏ so với điện trở tải thì sai số do ảnh hưởng của ampe-kế trở nên không đáng kể. Ví dụ:

Khi không có ampe-kế, dòng điện qua tải R_L :

$$I_L = 5V / 1k\Omega = 5mA$$

Khi có ampe-kế, nội trở $R_A = 5,17\Omega$:

$$I_L = 5V / (1k\Omega + 5,17\Omega) = 4,975 mA$$

Do đó sai số ảnh hưởng của ampe-kế: $100\% - [(4,975/5) \times 100\%] = 0,5\%$

Nếu sai số của thiết bị đo cho phép 1% thì sai số ảnh hưởng này không đáng kể. Còn nếu $R_L = 5k\Omega$ dòng qua tải khi không có ampe-kế $I_L = 5V / 5k\Omega = 1,0 mA$. Còn có ampe-kế nội trở $R_A = 49,4\Omega$ thì:

$$I_L = 5V / (5k\Omega + 49,4\Omega) = 0,990 mA$$

Do đó sai số ảnh hưởng của ampe-kế: $100\% - [(0,99/1) \times 100\%] = 1\%$

Như sai số tăng lên gấp hai trong trường hợp trước.

2.3 ĐO ĐIỆN ÁP AC VÀ DC

2.3.1 Đo điện áp DC

Nguyên lý đo (H.2.21): Điện áp đo được chuyển thành dòng điện đo đi qua cơ cấu chỉ thị. Nếu cơ cấu chỉ thị có I_{max} và điện trở nối tiếp thì:

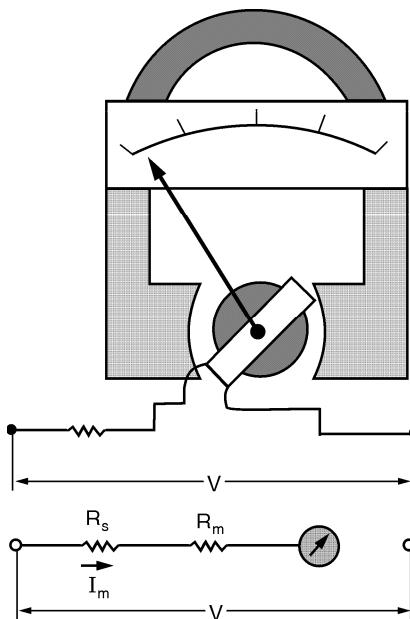


Hình 2.20: Kẹp nò đo dòng

$$I_{\text{ho}} = \frac{V_{\text{ho}}}{R + R_m} \leq I_{\text{max}}, \text{ với } R_m - \text{nội trở của cơ cấu (2.18)}$$

Tổng trở vào của vôn-kế $Z_V = R + R_m$.

Các cơ cấu từ điện, điện từ và điện động đều được dùng làm vôn-kế DC. Bằng cách nối thêm điện trở R để hạn chế dòng điện qua cơ cấu theo biểu thức trên.



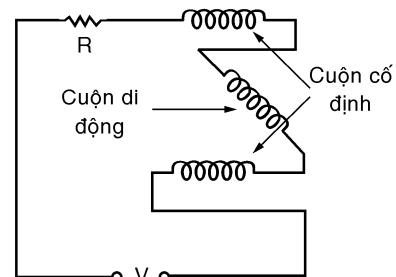
Hình 2.21: Mạch đo điện áp

Riêng đối với cơ cấu điện động cuộn, dây di động và cuộn dây cố định được nối tiếp (H.2.22).

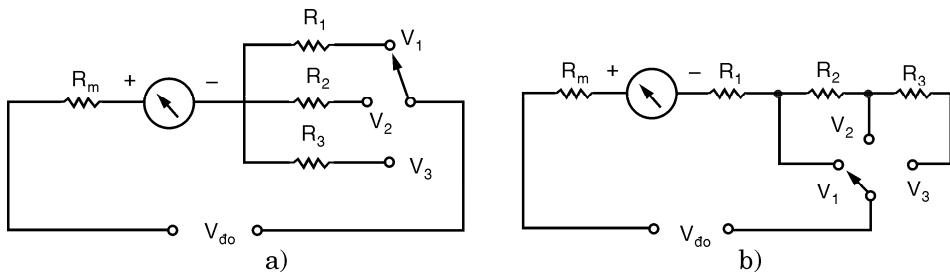
Mở rộng tầm đo

Dùng cơ cấu từ điện

Mở rộng tầm đo bằng cách nối tiếp điện trở (H.2.23). Đây là mạch đo điện áp một chiều thường dùng trong máy đo vạn năng. Tổng trở vào của vôn-kế thay đổi theo tầm đo nghĩa là tổng trở vào càng lớn thì tầm đo điện áp càng cao. Cho nên người ta thường dùng trị số độ nhạy Ω/V_{DC} của vôn-kế để xác định tổng trở vào của mỗi tầm đo.



Hình 2.22: Maïch ño ñieän aùp cuâa cõ caáu ñieän ñoäng

**Hình 2.23:** Mạch đo áp DC nhiều tầm đo

Ví dụ: Vôn-kế có độ nhạy $20\text{ k}\Omega/\text{V}_{DC}$. Ở tầm đo $2,5\text{V}$ là tổng trớ vào.

$$Z_{V1} = 2,5\text{V} \times 20\text{k}\Omega/\text{V}_{DC} = 200\text{k}\Omega.$$

Ví dụ 2.3: Tính điện trở cho ba tầm đo $V_1 = 2,5\text{V}$; $V_2 = 10\text{V}$; $V_3 = 0,5\text{V}$. Cho vôn-kế dùng cơ cấu từ điện $I_{max} = 100\mu\text{A}$; $R_m = 0,5\text{k}\Omega$

Giải: Mạch đo của vôn-kế được mắc theo hình 2.23b cho ba tầm đo. Do đó ở tầm $V_1 = 2,5\text{V}$:

$$R_1 + R_2 = \frac{2,5\text{V}}{I_{MAX}} = \frac{2,5\text{V}}{100\mu\text{A}}; R_1 = \frac{2,5\text{V}}{1 \times 10^{-4} \text{A}} - 0,5\text{k}\Omega = 24,5\text{k}\Omega$$

$$\text{Ở tầm: } V_2 = 10\text{V}: R_2 = \frac{V_2 - V_1}{I_{max}} = \frac{7,5\text{V}}{100\mu\text{A}} = \frac{7,5}{10^{-1}} \text{k}\Omega = 75\text{k}\Omega$$

$$\text{Ở tầm: } V_3 = 0,5\text{V}: R_3 = \frac{V_3 - V_2}{I_{max}} = \frac{0,5\text{V} - 10\text{V}}{100\mu\text{A}} = 400\text{k}\Omega.$$

Để cho vôn-kế có độ chính xác cao nên chọn sai số của điện trở $R_1, R_2, R_3 \leq 1\%$ độ nhạy Ω/V_{DC} của vôn-kế.

$$\frac{R + R_m}{V_1} = \frac{25\text{k}\Omega}{2,5\text{V}_{DC}} = 10\text{k}\Omega/\text{V}_{DC}$$

Ví dụ 2.4: Vôn-kế dùng cơ cấu điện từ có cuộn dây cố định có dòng $I_{max} = 50\text{mA}$ tầm đo $0 - 300\text{V}$. Xác định điện trở R nối tiếp với cơ cấu. Điện trở nội $R_m = 100\Omega$ và công suất của điện trở.

$$\text{Giải: } R + R_m = \frac{300\text{V}}{50\text{mA}} = 6\text{k}\Omega, R = 6\text{k}\Omega - 0,1\text{k}\Omega = 5,9\text{k}\Omega$$

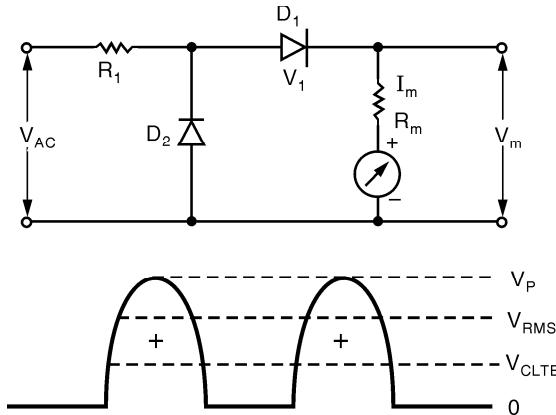
$$\text{Công suất của điện trở } P = RI_{max}^2 = 5,9\text{k}\Omega \times (50\text{mA})^2 = 14,75 \text{ watt}$$

2.3.2 Đo dòng điện AC

Nguyên lý đo: Đối với cơ cấu điện động, điện từ vôn-kế AC dùng cơ cấu này phải mắc điện trở nối tiếp với cơ cấu như trong vôn-kế DC vì hai cơ cấu

này hoạt động với trị hiệu dụng của dòng xoay chiều. Riêng đối với cơ cấu điện từ thì phải dùng phương pháp biến đổi như ở phần ampe-kế nghĩa là dùng diod chỉnh lưu hoặc bộ biến đổi nhiệt điện (H.2.18).

Cách xác định điện trở nối tiếp cho cơ cấu từ điện



Hình 2.24: Mạch đo điện áp AC

Mạch đo được mắc như hình 2.24 diod D_1 chỉnh lưu dòng điện AC ở bán kỵ dương, diod D_2 cho dòng điện âm đi qua (không qua cơ cấu chỉ thị) để cho điện áp nghịch của bán kỵ âm của điện áp AC không rơi trên diod D_1 và cơ cấu chỉ thị. Tránh được điện áp nghịch quá lớn khi đo điện áp AC có giá trị lớn. Điện trở R_1 nối tiếp ở tầm đo điện áp V_{AC} được xác định:

$$V_{AC}(RMS) = (R_1 + R_m) I_{hd} + V_D(RMS) \quad (2.19)$$

mà: $I_{cltb} = I_{max} = 0,318\sqrt{2} I_{hd}$ (2.20)

I_{hd} - dòng điện của điện áp đo V_{AC} (tính theo trị hiệu dụng) qua cơ cấu chỉ thị và qua R_1 tương đương.

$$R_1 + R_m = \frac{V_{AC}(RMS) - V_D}{I_{max}/(0,314\sqrt{2})} \quad (2.21)$$

Ví dụ: $R_m = 1k\Omega$; $I_{max} = 50\mu A$. Xác định R_1 ở tầm đo $V_{AC} = 10V$ (RMS) với $V_D = 0,6V$ (RMS).

$$R_1 + R_m = \frac{10V(RMS) - 0,6V}{50\mu A/(0,45)} = \frac{9,4V(RMS)}{110\mu A} = 85,45k\Omega; R_1 \approx 85k\Omega$$

Độ nhạy Ω/V_{AC} của vôn-kế trong trường hợp này:

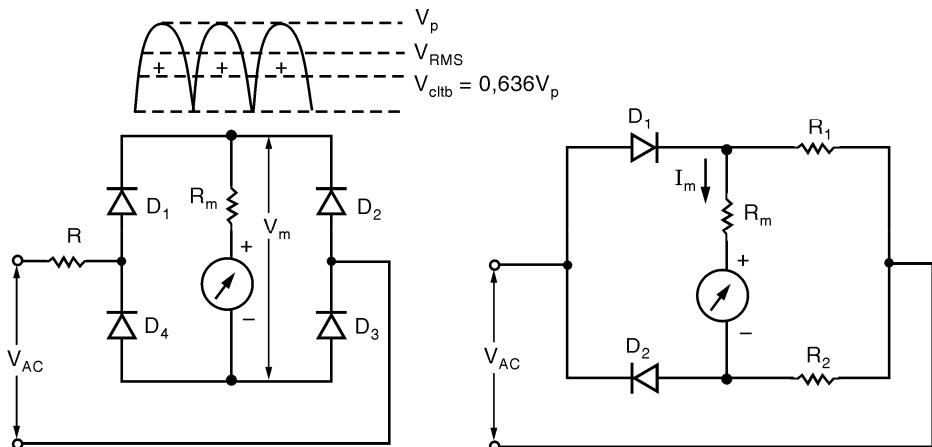
$$1V(RMS)/110\mu A(RMS) = 9k\Omega/V_{ac}$$

Như vậy với cùng một cơ cấu (cơ cấu từ điện) tổng trở vào của vôn-kế AC sẽ nhỏ hơn tổng trở vào của vôn-kế DC.

Đối với vôn-kế điện tử tổng trở vào của vôn-kế không thay đổi theo tầm đo đối với điện áp AC hoặc DC.

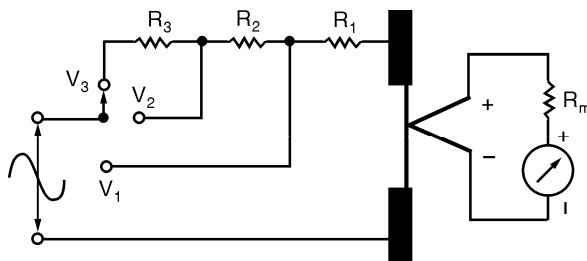
☐ Mạch đo điện áp AC có thể dùng cầu diod (4 diod) hoặc (2 diod) và (2 điện trở) như hình 2.25.

☐ Khuyết điểm của vôn-kế AC dùng diod chỉnh lưu phụ thuộc vào dạng tín hiệu và tần số cao có ảnh hưởng của tổng trở và điện dung ký sinh của diod.



Hình 2.25: Mạch đo điện áp AC dùng cơ cấu từ điện

☐ Để cho vôn-kế AC không phụ thuộc vào dạng và tần số của tín hiệu AC thì dùng vôn-kế có bộ biến đổi nhiệt điện (H.2.26), các điện trở thay đổi tầm đo được nối tiếp với điện trở cung cấp nhiệt lượng cho cặp nhiệt điện.



Hình 2.26: Mạch đo điện áp AC dùng bộ nhiệt điện

☐ Thang đo của vôn-kế AC được ghi theo trị hiệu dụng (RMS) mặc dù dùng phương pháp chỉnh lưu trung bình. Còn nếu dùng phương pháp biến đổi nhiệt điện thì gọi là vôn-kế có trị hiệu dụng thực (true RMS).

2.3.3 Ảnh hưởng của vôn-kế trên mạch đo điện áp

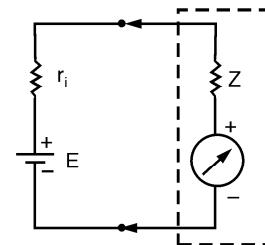
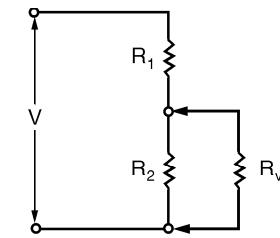
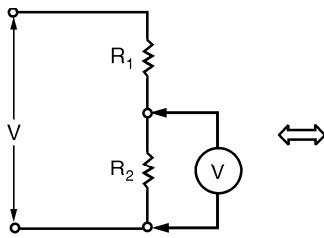
☐ Khi vôn-kế được mắc vào phần tử cần đo điện áp thì có thể xem như tổng trở vào của vôn-kế mắc song song với phần tử đó (H.2.27).

Ví dụ: Vôn-kế đo điện áp hai đầu điện trở R_2 , dòng điện đi qua R_2 khi không có vôn-kế: $I = V/(R_1 + R_2)$. Điện áp vào: $V_2 = R_2 I = R_2 \times V/(R_1 + R_2)$

$$\text{Khi có vôn-kế dòng điện } I' \text{ qua mạch: } I' = \frac{V}{R_1 + (R_2 // R_V)}$$

$$\text{Điện áp: } V' = (R_2 // R_V) I' = (R_2 // R_V) \frac{V}{R_1 + (R_2 // R_V)}$$

Nếu R_2 rất nhỏ so với R_V dẫn đến $(R_2 // R_V) \rightarrow R_2$. Khi đó ảnh hưởng của vôn-kế không đáng kể đối với mạch đo.



Hình 2.27

Mạch tương đương khi mắc vôn-kế

Hình 2.28

Mạch đo điện áp nguồn

Ví dụ 2.5: $V = +10V; R_2 = R_1 = 10k\Omega$;

$$R_V = 200k\Omega; V_2 = \frac{10V}{20 k\Omega} \times 10k\Omega = 5V$$

$$\text{Khi đó vôn-kế: } I' = \frac{10V}{10k\Omega + (10k\Omega // 200k\Omega)} = \frac{10V}{19,5k\Omega}$$

$$V'_2 = \frac{9,5k\Omega}{19,5k\Omega} \times 10V = 4,88V$$

Sai số do ảnh hưởng của vôn-kế: $[1 - (4,88V/5V)] \times 100\% = 2,4\%$

Ví dụ 2.6: Vôn-kế đo điện áp nguồn pin (H.2.28). Vôn-kế được đặt ở tầm đo 2,5V, tổng trở vào $Z_V = 50k\Omega$, nguồn pin có $E = 1,5V$, nội trở 5Ω . Khi pin yếu, nội trở tăng 20Ω và $E' = 1,4V$. Cho biết sự chỉ thị của vôn-kế trong hai trường hợp trên.

Giải: Dòng điện qua vôn-kế khi $r = 5\Omega$: $I_1 = 1,5V/(5\Omega + 50k\Omega) = 30\mu A$

Vôn-kế chỉ: $2,5V \times (30\mu A / 50\mu A) = 1,5V$; khi pin yếu: $V = 1,4V$ nội trở 20Ω dòng điện qua vôn-kế: $I_2 = \frac{1,4V}{20\Omega + 50.000\Omega} = 27,98\mu A$.

Khi đó vôn-kế chỉ: $2,5V \times (27,98\mu A / 50\mu A) = 1,39V$.

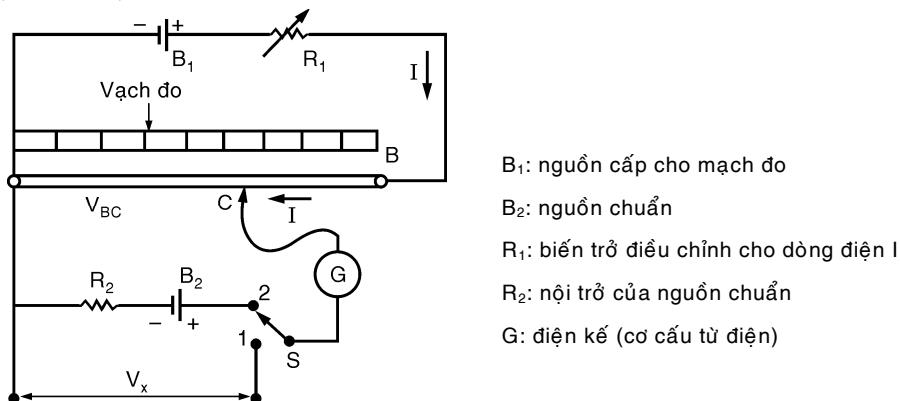
Sai số do ảnh hưởng của vôn-kế: $(1 - 1,39/1,4) \times 100\% = 1\%$

Do đó nếu nguồn có nội trở càng lớn thì sai số ảnh hưởng của vôn-kế khi đo điện áp càng tăng.

2.4 ĐO ĐIỆN ÁP DC BẰNG PHƯƠNG PHÁP BIẾN TRỞ

2.4.1 Nguyên lý đo

Mạch đo được mắc theo hình 2.29.



Hình 2.29: Mạch đo điện áp bằng biến trở

Biến trở BA là biến trở đo lường.

Khóa S có hai vị trí 1 và 2 dùng để chuẩn máy đo và để đo đại lượng V_x .
Dòng điện I chạy trong mạch đo:

$$I = \frac{B_1}{K_1 R_1 + R_{AB}} \quad (2.22)$$

$0 \leq K_1 \leq 1$: phụ thuộc vào vị trí con chạy.

R_{AB} là toàn trị số của biến trở đo lường. G điện kế dùng để xác định sự cân bằng của mạch đo. Dòng I được giữ không đổi (đã được định sẵn). Do đó trước khi đóng khóa, S được để ở vị trí 1. Nguồn chuẩn B_2 được đưa vào so sánh với điện áp V_{BC} (con chạy C có vị trí đã định trước cho nguồn chuẩn B_2).

Tại vị trí *vạch chuẩn* của con chạy C , điện kế G chỉ số “0” (nghĩa là dòng điện kế bằng không). $B_2 = V_{BC} = R_{BC}I$. Dòng I đã được xác định.

Nếu điện kế G chỉ khác “0” dòng I định trước đã thay đổi. Khi đó, điều chỉnh R_I để sao cho “G” chỉ “0” (nghĩa là K_I thay đổi) dòng I có trị số như cũ (vì B_I thay đổi do nguồn pin yếu hoặc mạnh quá qui định).

Sau đó khóa K được chuyển sang vị trí 2: điện áp V_X cần đo được so sánh với điện áp V_{BC} .

Tiếp tục điều chỉnh con chạy C cho đến khi “G” chỉ không):

$$V'_{BC} = R'_{BC}I$$

Như vậy tại vị trí R_{BC} có: $V'_{BC} = R'_{BC}I = V_X$

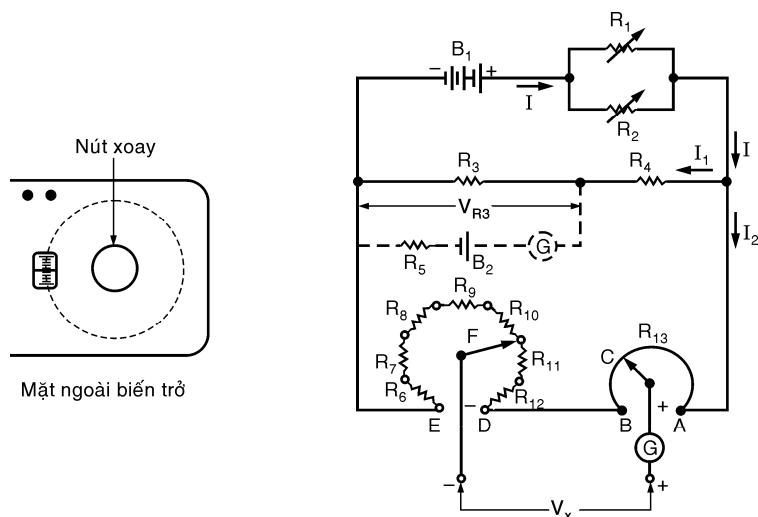
I đã được xác định, do đó V_X được đo bằng điện trở R'_{BC} . Thông thường người ta khắc trị số điện áp đo trên vị trí dịch chuyển của con chạy C (thường được ghi trên *thước đo* hoặc *đĩa đo*).

☐ Ưu điểm của phương pháp đo này là không bị ảnh hưởng của điện trở nội của nguồn V_X . Vì dòng điện qua điện kế G bằng “0” nên không có điện áp rơi trên điện trở nội của nguồn điện áp cần đo.

2.4.2 Mạch đo thực tế (H.2.30)

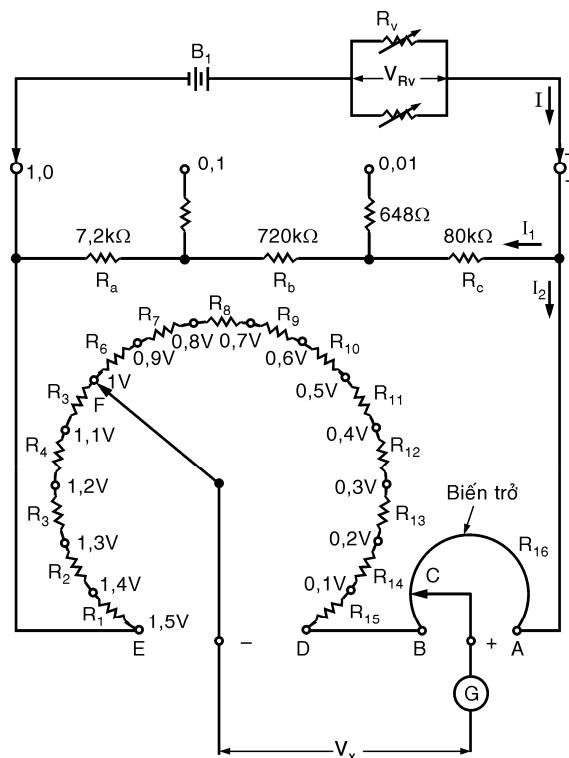
Để dòng I được xác định một cách chính xác và điều chỉnh được tuyển tính khi B_I thay đổi, người ta dùng hệ thống điện trở (từ $R_6 \div R_{12}$) kết hợp nối tiếp với điện trở R_{13} có con chạy C trượt trên biến trở và mắc song song với $R_3 + R_4$ (để có sự điều chỉnh được tuyển tính).

Trị số V_X được xác định trên vạch chia của đĩa xoay nhìn qua ô *cửa sổ* (H.2.30). Như vậy để cho điện kế G chỉ “0” khi đo V_X chúng ta phải điều chỉnh *tầm đo* (thay đổi vị trí của khóa F) và điều chỉnh nhỏ (thay đổi con chạy C).



Hình 2.30: Mạch đo cự thết

2.4.3 Mạch đo có trị số cự thết (H.2.31)



Hình 2.31: Mạch đo cự thết của mV- kế

Chuyển vị trí F để thay đổi tầm đo từ 0,1V đến 1,5V ($R_1 = R_2 = R_3 = \dots = R_{15} = 50\Omega$).

Thay đổi H là thay đổi hệ số nhân 0,01; 0,1; 1. Trị số đọc được xác định V_X . Đây là thiết bị đo điện áp (mili volt-kế) cụ thể có ba tầm lớn.

T <small>âm</small> d <small>o</small> , v	D <small>ộ</small> ch <small>ính</small> x <small>ác</small> , μ V
0 ÷ 1,6	± 500
0 ÷ 0,16	± 100
0 ÷ 0,016	± 10

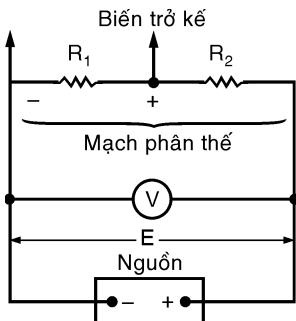
Ở mỗi tầm đo có phân ra 15 khoảng nhỏ.

Ví dụ: Ở tầm đo từ 0 đến 0,016V.

Có 15 khoảng, mỗi khoảng cách nhau 0,001V (1mV).

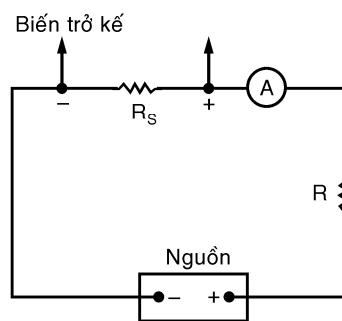
2.4.4 Ứng dụng của phương pháp đo diện bằng biến trồi

Định chuẩn cho vôn-kế DC và ampe-kế DC



Hình 2.32

Mach đinh chuẩn vôn-kế



Hình 2.33

Mạch định chuẩn ampe-kết

Mạch được mắc như hình 2.32, điện áp E được đưa vào định chuẩn cho vôn-kiế:

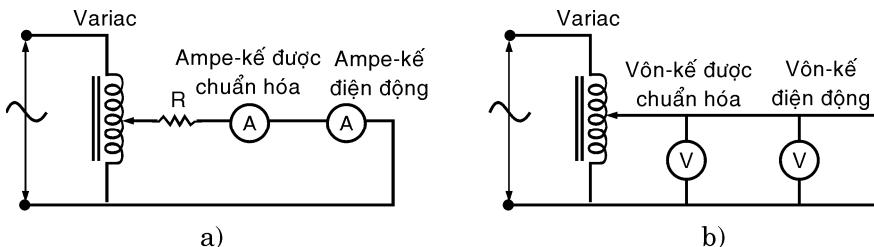
$$E = \frac{V_{R1}}{R_1} (R_1 + R_2) \quad (2.23)$$

trong đó V_{RI} được xác định bởi vôn-kế dùng P/P biến trở đã nói ở trên.

Mạch được mắc như hình 2.33, dòng điện I qua ampe-kế cần được định chuẩn đi qua *điện trở chính xác* R_S , điện áp ($R_S I$) được đưa vào đo bằng vôn-kế dùng phương pháp biến trở.

Định chuẩn cho vôn-kế AC và ampe-kế AC

Do không thể đo điện áp AC và dòng điện AC bằng phương pháp biến trở được, nên phải dùng qua thiết bị *đo trung gian* đó là vôn-kế và ampe-kế điện động (H.2.34).



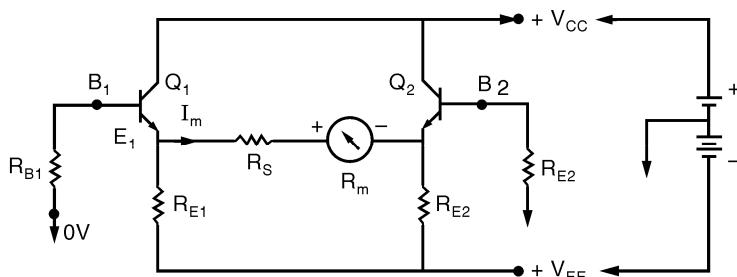
Hình 2.34: Mạch “chuẩn hóa” vôn-kế và ampe-kế

a) Mạch chuẩn hóa ampe-kế AC; b) Mạch “chuẩn hóa” vôn-kế AC

2.5 VÔN-KẾ ĐIỆN TỬ ĐO ĐIỆN ÁP DC

2.5.1 Vôn-kế điện tử đo điện áp DC transistor

Mạch đo điện áp DC dùng transistor hai môi nồng (BJT)



Hình 2.35: Mạch đo dùng BJT

◻ Mạch đo được diễn tả bởi hình 2.35. Mạch đo là mạch cầu đo gồm transistor Q_1 , Q_2 , R_2 , R_3 điện áp ra được lấy ở cực E_1 , E_2 của Q_1 , Q_2 (hoặc cực C_1 , C_2). Điện áp vào của mạch đo được đưa vào ở cực B_1 (hoặc 1 cực B_2 của Q_2) của Q_1 . Khi dùng ngõ vào đơn cực (điện áp cực B_1 so với điểm mass, điện thế bằng “0V”), hoặc có thể dùng vào vi sai ở hai cực B_1 và B_2 .

◻ Nguyên lý hoạt động

Đưa điện áp vào bằng “0V” cực B_1 nối với mass (hoặc B_1 , B_2 nối với mass nếu ngõ vào theo cách vi sai). Theo điều kiện lý tưởng của mạch đo:

$$I_{B1} = I_{B2}; \quad Q_1, Q_2 \text{ có đặc tính giống nhau} (\beta_1 = \beta_2). \text{ Cho nên:}$$

$$I_{C1} = \beta_1 I_{B1} = I_{C2} = \beta_2 I_{B2} \Rightarrow I_{E1} = I_{E2}, \alpha I_C = (1 - \alpha) I_B, I_C = \frac{1 - \alpha}{\alpha} I_B$$

và $R_{E1} = R_{E2}$; cho nên $V_{E1} = V_{E2}$. Khi đó dòng I_M qua cơ cấu chỉ thị bằng không.

□ Khi điện áp vào: $V_i > 0$; $I_{B1} > I_{B2}$; suy ra: $I_{E1} > I_{E2}$

Cho nên $V_{B1} > V_{B2}$ dòng I_M qua cơ cấu chỉ thị M phụ thuộc vào $V_{E1} - V_{E2}$ nghĩa là phụ thuộc vào điện áp V_i . Đối với mỗi mạch đo sẽ có V_i cực đại khiến cho transistor đạt đến trạng thái bão hòa $V_{E1} - V_{E2}$ cực đại.

Ví dụ: $V_i = 1V$ khiến cho $V_{E1} - V_{E2} = 1V$ (mức điện áp bão hòa cần đo).

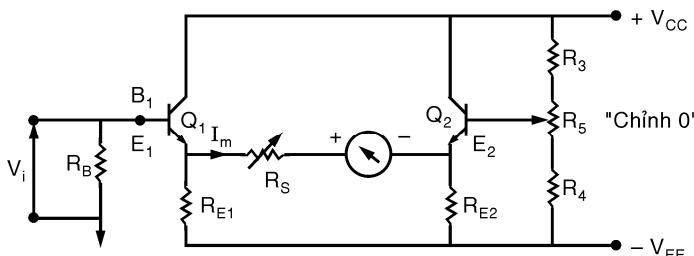
□ Khi điện áp vào: $V_i < 0$; $I_{B1} > I_{B2}$; suy ra: $V_{E1} < V_{E2}$ dẫn đến $V_{E1} - V_{E2} < 0$ lúc đó dòng điện I_M do qua E_2 đến E_1 (khi đó tính chất của đồng hồ M phải đảo lại).

Chú ý: □ Khi đo điện áp V_i (dương hay âm) điểm mass mạch đo bao giờ cũng được nối với điểm mass của mạch cần đo (nếu ngõ vào lấy theo kiểu đơn cực ngoại trừ ngõ vào được lấy theo kiểu vi sai).

□ Khi đo hiệu điện áp $V_A - V_B$ của một mạch cần khảo sát, chúng ta phải lần lượt đo V_A so với mass và V_B so với mass (nếu ngõ vào theo kiểu đơn cực). Còn nếu ngõ vào của mạch đo theo kiểu vi sai thì chúng ta đưa hai đầu đo vào hai điểm A và B (trong khi đó điểm mass của mạch đo được nối với mass mạch cần khảo sát).

□ Trong thực tế nếu mạch không thỏa điều kiện lý tưởng nghĩa là khi:

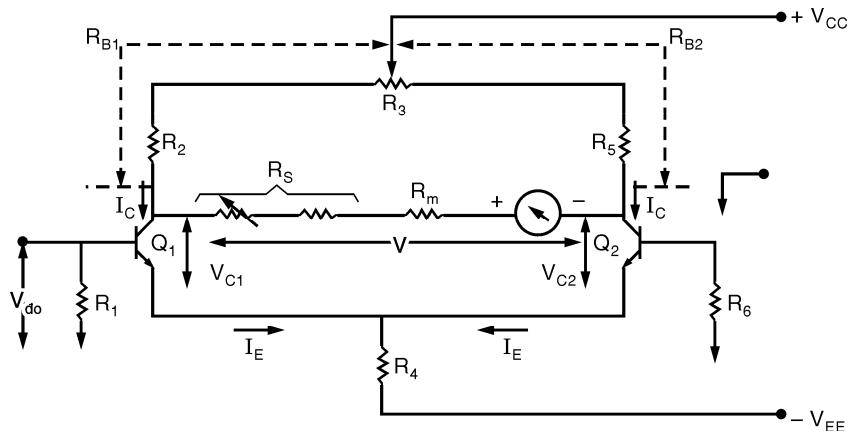
$V_i = 0V$ mà $V_{E1} \neq V_{E2}$, có khi ở trên chúng ta dùng mạch đo sau đây có biến trở R_5 (biến trở chỉnh “0” của mạch đo) điều chỉnh con chay R_5 để cho mạch đo phân cực lại sao cho $I_{B1} = I_{B2}$ và $V_{E1} = V_{E2}$. Mạch đo thực tế được diễn tả như hình 2.36.



Hình 2.36: Mạch đo có biến trở chỉnh không “0”

□ Mạch đo điện áp có ngõ ra được lấy ở hai cực phát còn được gọi là mạch theo điện áp (voltage follower) vì điện áp ra có hệ số khuếch đại bằng 1

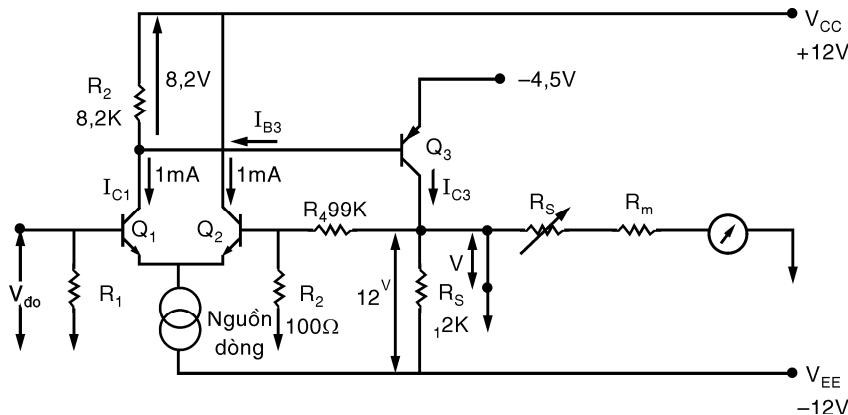
so với điện áp vào.



Hình 2.37: Mạch khuếch đại có hệ số lớn hơn 1

Nếu muốn điện áp ra lớn hơn điện áp vào (mạch đo có hệ số khuếch đại lớn hơn 1) thì ngõ ra được lấy ở cực thu C_1 , C_2 của Q_1 , Q_2 như mạch hình 2.37.

Đối với tín hiệu có trị số đo nhỏ, chúng ta có thể dùng thêm một tầng khuếch đại transistor có phần hồi tiếp âm để ổn định sự khuếch đại của mạch như hình 2.38. Tín hiệu ra được lấy ở cực thu C_3 của Q_3 và phần hồi tiếp âm được lấy từ cực thu C_3 về cực nền B_2 qua điện trở R_4 .

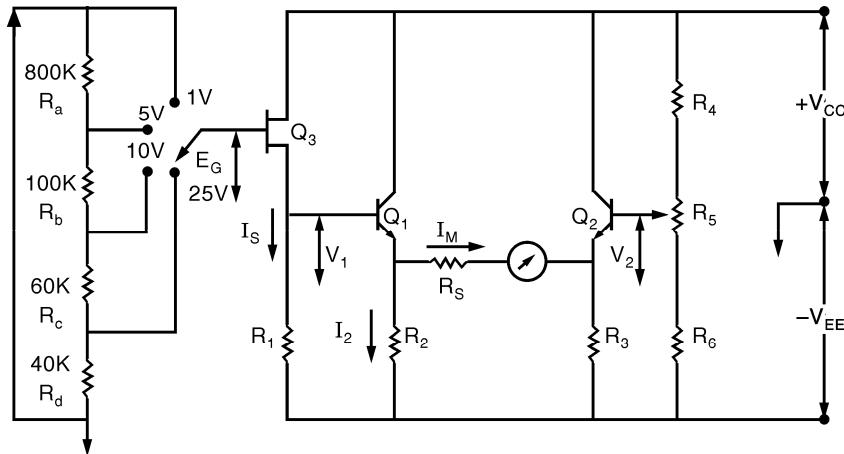


Hình 2.38: Mạch khuếch đại hồi tiếp âm

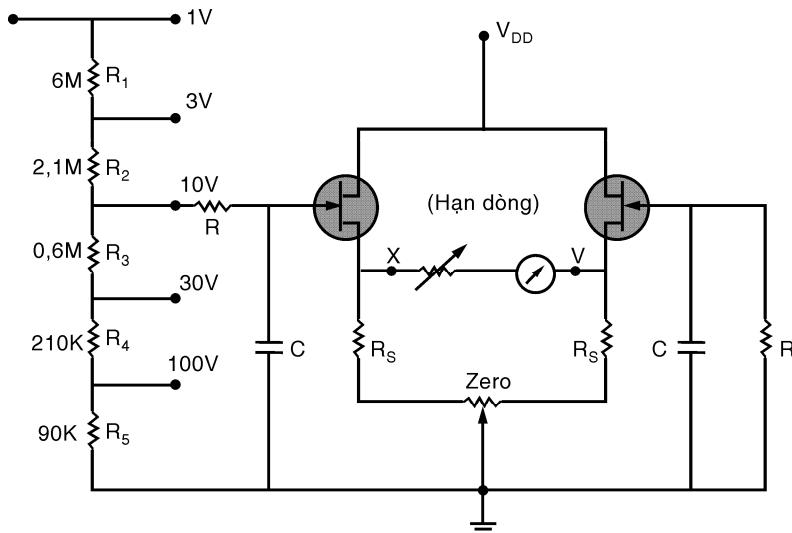
Mạch đo điện áp DC dùng transistor trường (JFET)

Mạch đo dùng BJT có khuyết điểm là tổng trớ vào của bản thân transistor BJT nhỏ ($h_{ie} \approx$ vài $k\Omega$). Do đó người ta thường dùng mạch đo có ngõ vào dùng JFET để có tổng trớ vào lớn như hình 2.39 sau đây kết hợp với mạch phân tần

đo điện áp. Hoặc mạch đo dùng JFET kênh N như hình 2.40.



Hình 2.39: Mạch đo có tầng vào là JFET



Hình 2.40: Mạch đo dùng JFET kênh N

□ *Tổng trớ vào của mạch đo:* tổng trớ vào của vôn-kế là tổng trớ vào của mạch phân tần đo:

$$Z_i = R_a + R_b + R_c + R_d = 800k + 100k + 60k + 40k = 1M\Omega$$

Do đó ở mỗi tần đo (tần đo 1V; 5V; 10V; 25V ở H.2.39) *tổng trớ vào \$Z_i\$ không đổi* (\$1M\Omega\$)

□ Đặc điểm của mạch phân tần đo là mạch phân áp vào mạch đo (mạch cầu đo).

Ví dụ: Ở tần số 1V, điện áp đo $\leq 1V$ được đưa vào mạch đo. Vì mạch đo có điện áp bão hòa ở 1V.

Khi điện áp lớn hơn 1V thì khóa S chuyển sang các tần số lớn hơn (ví dụ chuyển sang tần số 5V) thì khi đó mạch phân áp sẽ tạo ra điện áp V_i vào mạch đo:

$$V_i = \frac{V_{\text{đo}}}{R_a + R_b + R_c + R_d} (R_b + R_c + R_d)$$

Như vậy ở tần số 5V ($V_{\text{đo}}_{\text{max}} = 5V$

$$V_i = \frac{5V}{R_a + R_b + R_c + R_d} (R_b + R_c + R_d) = \frac{5V}{1M\Omega} \times 200k\Omega = 1V$$

2.5.2 Mạch đo điện áp DC dùng IC Op –Amp

(mạch khuếch đại thuật toán)

Đặc tính cơ bản

Những tín hiệu đo lường thường có trị số nhỏ (hoặc rất nhỏ), nhất là những tín hiệu từ ngõ ra của cảm biến đo lường, cho nên cần phải khuếch đại những tín hiệu này trước khi chế biến tín hiệu.

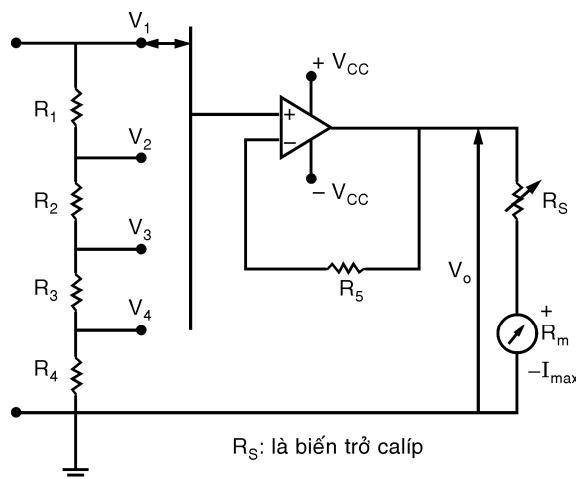
Những nét đặc trưng quan trọng của mạch khuếch đại đo lường gồm những điểm sau đây:

- Hệ số khuếch đại được chọn lựa phù hợp với độ chính xác và độ tuyến tính cao
- Ngõ vào vi sai có khả năng tốt nhất để có hệ số truất thải tín hiệu chung lớn nhất
- Độ ổn định cho hệ số khuếch đại đối với sự thay đổi nhiệt độ hoạt động
- Sai số do sự trôi (drift) và điện áp offset DC càng nhỏ càng tốt.

Hiện nay mạch khuếch đại đo lường dùng vi mạch khuếch đại thuật toán (*instrumentation operational amplifier*) đã được chế tạo mang những đặc tính cơ bản nói trên. Do đó, chúng ta không cần phải bận tâm đến việc thiết kế mạch khuếch đại đo lường như khi còn dùng linh kiện transistor rời. Ngoài ra hệ số khuếch đại của mạch khuếch đại thuật toán hoàn toàn phụ thuộc phần tử bên ngoài do chúng ta quyết định khi thiết kế.

Chính vì vậy ở các phần sau đây chúng ta phân tích mạch đo lường dùng trong máy đo điện tử sử dụng mạch khuếch đại thuật toán (*op-amp*).

Dạng mạch đo không có khuếch đại điện áp

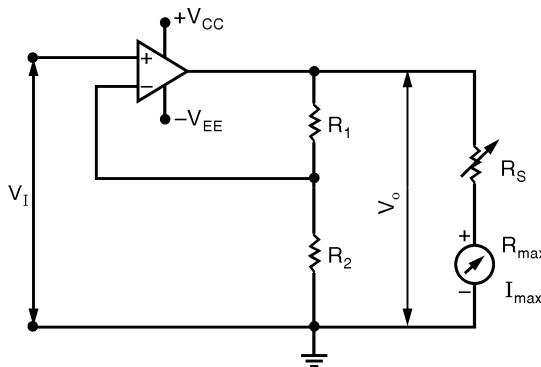


Hình 2.41: Mạch đo dùng Op-Amp có hệ số khuếch đại bằng 1

Trong trường hợp này mạch khuếch đại điều hợp (ngăn cách) tổng trớ lớn của mạch phân tần đo và mạch của đồng hồ chỉ thị (H.2.41). Mạch khuếch đại dùng op-amp trong trường hợp này là *mạch khuếch đại không đảo dấu (non inverting amplifier)* vì tín hiệu vào ngõ (+) của op-amp.

Dạng mạch đo có khuếch đại điện áp

Trường hợp tín hiệu đo có giá trị nhỏ chúng ta dùng mạch khuếch đại không đảo dấu có hệ số khuếch đại lớn hơn 1 (H.2.42).



Hình 2.42: Mạch đo dùng cho tín hiệu nhỏ

$$\text{Trong trường hợp này: } V_o = V_i(1 + R_1/R_2)$$

Ví dụ 2.7: \$V_i = 0,1\$ vôn; \$R_1 = 90k\Omega\$; \$R_2 = 10k\Omega\$; \$R_m = 1k\Omega\$; \$I_{max} = 50\mu A\$.

Xác định \$R_s\$ để cho \$I_m\$ qua đồng hồ chỉ thị cực đại.

Giải: điện áp ra:

$$V_o = V_i(1 + R_1/R_2) = 10 \times 0,1V = 1V$$

$$V_o = (R_s + R_m)I_{max} = 1V$$

$$R_s = \frac{1V}{50\mu A} - 1k\Omega = 20k\Omega - 1k\Omega = 19k\Omega$$

Mạch khuếch đại chuyển đổi điện áp sang dòng điện (H.2.43).

$$V_o = V_i[1 + (R_s + R_m)/R]$$

$$I_M = \frac{V_o}{R_s + R_m + R_1} = V_i \frac{R_1 + R_s + R_m}{R_1} \frac{1}{R_1 + R_s + R_m} = \frac{V_i}{R_1}$$

$$(V_I)_{max} = R_1 I_{max}.$$

Ví dụ: \$V_i = 0,1V\$, xác định \$R_1\$ để cho \$I_M\$

\$\rightarrow I_{max}\$. Khi cơ cấu đo có \$I_{max} = 50\mu A\$, \$R_m = 1k\Omega\$.

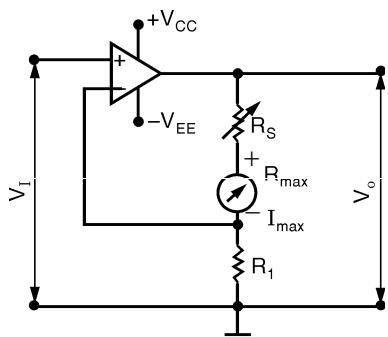
Giải: Theo cách tính trên.

$$V_i = R_1 I_{max}$$

Cho nên khi \$I_M \rightarrow I_{max} = 50\mu A\$

Tại: \$V_i = 0,1V\$

$$R_1 = \frac{V_i}{V_{max}} = \frac{0,1V}{50\mu A} = \frac{10^5}{50} = 2k\Omega$$



Hình 2.43: Mạch đo chuyển đổi từ dòng điện sang điện áp

Mạch khuếch đại dạng vi sai

Mạch khuếch đại dạng vi sai được diễn tả ở hình 2.44.

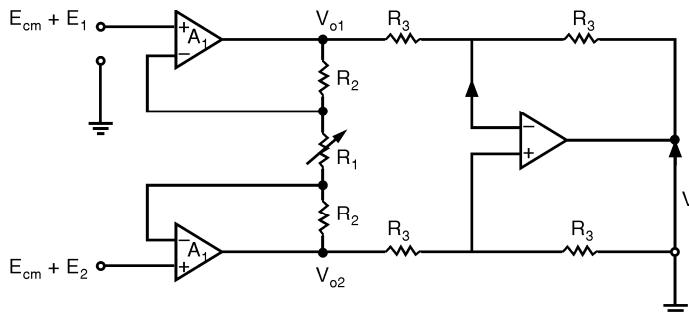
Khảo sát mạch đo trên: E_{cm} thành phần chung của tín hiệu đo.

E_1, E_2 thành phần vi sai

$$V_{01} = \left(1 + \frac{R_2}{R_1}\right)(E_1 + E_{cm}) + \left(-\frac{R_2}{R_1}\right)(E_2 + E_{cm}) = \left(1 + \frac{R_2}{R_1}\right)E_1 + E_2\left(-\frac{R_2}{R_1}\right) + E_{cm}$$

$$V_{02} = \left(1 + \frac{R_2}{R_1}\right)(E_2 + E_{cm}) + \left(-\frac{R_2}{R_1}\right)(E_1 + E_{cm}) = \left(1 + \frac{R_2}{R_1}\right)E_2 + E_1\left(-\frac{R_2}{R_1}\right) + E_{cm}$$

$$V = V_{02} - V_{01} = \left(1 + 2\frac{R_2}{R_1}\right)(E_2 - E_1)$$



Hình 2.44: Mạch đo dùng khuếch đại vi sai

2.5.3 Mạch đo điện áp DC có giá trị nhỏ dùng phương pháp “chopper”

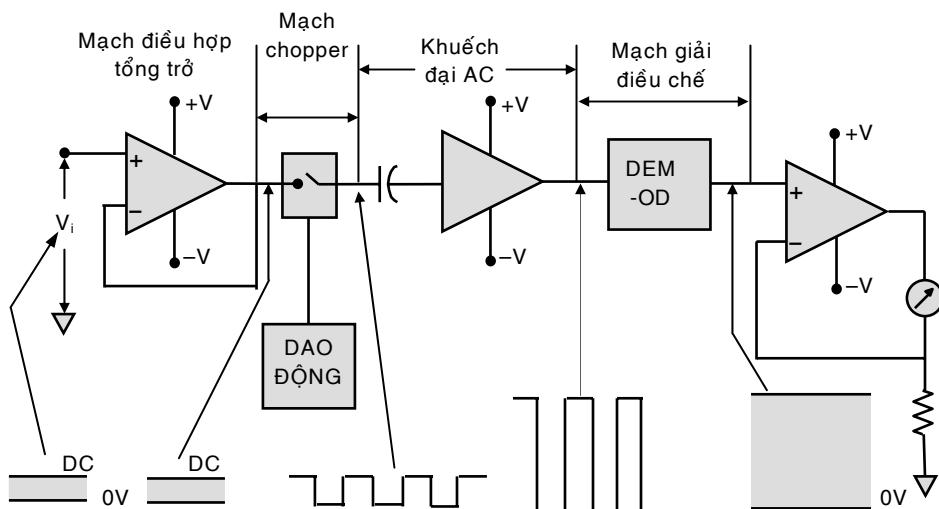
Mạch đo điện áp DC có giá trị nhỏ vào khoảng vài mV thường được dùng trong điện kế điện tử (*electronic galvanometer*). Để đo những điện áp có giá trị nhỏ như vậy phải dùng mạch khuếch đại ghép nhiều tầng để tăng hệ số khuếch đại. Nhưng nếu ghép các tầng khuếch đại theo kiểu ghép trực tiếp (ghép DC - *direct coupling*) thì sự trôi đi của phân cực của tầng đầu sẽ được các tầng sau khuếch đại và như vậy, sẽ lẫn vào tín hiệu đo. Do đó phải dùng cách ghép AC (*alternative coupling*) để sự trôi mõi tầng khuếch đại độc lập với nhau. Như vậy tín hiệu đo phải được chuyển từ tín hiệu DC sang tín hiệu thay đổi AC, sau đó được khuếch đại lớn lên bằng mạch khuếch đại AC. Sơ đồ khối mạch đo được diễn tả ở hình 2.45.

□ Trước hết tín hiệu đo DC đưa vào mạch khuếch đại *theo điện áp* có nhiệm vụ điều hợp tổng trở cho mạch phân tần đo trước đó và mạch *chopper* (mạch đóng-ngắt)

□ Mạch *chopper* bao gồm mạch dao động điều khiển mạch khóa *diện tử*

(thường dùng mạch đóng ngắt dùng JFET), hoặc dùng phương pháp *chopper* theo phương pháp quang (H.2.46). Sau đó tín hiệu ở ngõ ra của mạch *chopper* là tín hiệu AC thay đổi (xung vuông) có biên độ là mức điện áp DC cần đo và tần số là tần số của tín hiệu dao động. Tín hiệu này được đưa vào mạch khuếch đại ghép AC để khuếch đại tín hiệu lớn lên.

- Sau đó tín hiệu này được đưa vào mạch *giải điều chế* (*demodulator*) để loại tín hiệu dao động, lấy lại tín hiệu DC (có kết hợp của mạch lọc *hà thông*).
- Tín hiệu DC đã được khuếch đại đưa vào mạch đo điện áp DC (như đã nói ở phần trước).



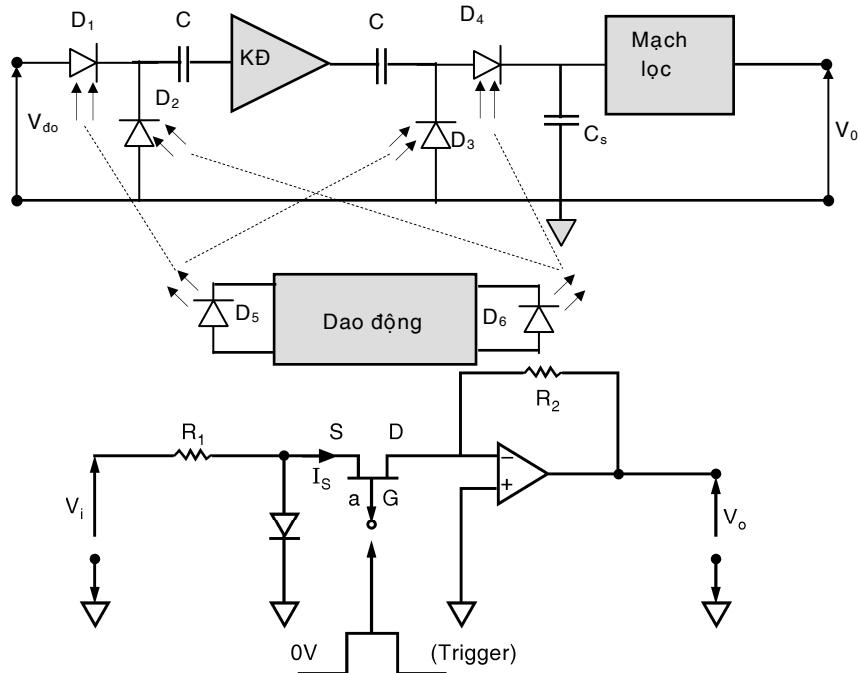
Hình 2.45: Sơ đồ khối của mạch đo điện áp DC
có trị số nhỏ dùng chopper

Sau đây chúng ta khảo sát mạch *chopper* dùng phương pháp quang.

Mạch dao động tạo ra tín hiệu điều khiển 2 diod phát quang D_5 , D_6 tuân tự chớp sáng. Hai diod quang (*photo diod*) D_1 , D_3 cùng nhận nguồn sáng phát ra từ D_5 và D_2 , D_4 cùng nhận nguồn sáng phát ra từ D_6 . Khi D_1 , D_2 , D_3 và D_4 nhận được ánh sáng chiếu vào thì xem như *tiếp điểm đóng*. Khi không có ánh sáng chiếu vào xem như *tiếp điểm hở mạch*. Cho nên sự dẫn điện của D_1 , D_3 và sự không dẫn điện D_2 , D_4 hoặc sự dẫn điện D_2 , D_4 và sự không dẫn D_1 , D_3 tạo cho xung vuông xuất hiện ở ngõ ra diod D_4 được khuếch đại lớn lên. Tụ C_S được nạp tới trị đỉnh của tín hiệu xung vuông. Sau đó mạch lọc sẽ loại bỏ tần

số tín hiệu dao động để cho ra tín hiệu V_o (DC). Hoặc mạch chopper dùng *khóa điện tử* bằng JFET như hình 2.46 và 2.47:

Hình 2.46: Mạch chopper dùng phương pháp quang học



Hình 2.47: Mạch chopper dùng JFET

Khi $U_{GS} = 0$ thì JFET kênh P dẫn. $V_{GS} > V_P$: JFET kênh P không dẫn. Với V_P điện áp nghẽn của JFET kênh P, JFET hoạt động như *khóa điện tử*.

2.6 VÔN-KẾ ĐIỆN TỬ ĐO ĐIỆN ÁP AC

2.6.1 Tổng quát

Để đo điện áp AC (xoay chiều) chúng ta chuyển đổi điện áp AC sang điện áp DC bằng ba phương pháp sau:

- Phương pháp chỉnh lưu dùng diode
- Phương pháp trị hiệu dụng thực (true RMS)
- Phương pháp trị đỉnh.

Trong cả ba phương pháp, trị số đo của tín hiệu thường được đọc theo trị

hiệu dụng (RMS—Root Means Square). Do đó chúng ta có mối quan hệ giữa trị chỉnh lưu trung bình với trị hiệu dụng và trị đỉnh với trị hiệu dụng. Cho nên có các hệ số sau đây:

$$\text{Hệ số dạng: } K_f = \frac{\text{Trị hiệu dụng}}{\text{Trị chỉnh lưu trung bình}}$$

$$\text{Hệ số đỉnh: } K_P = \frac{\text{Trị đỉnh}}{\text{Trị hiệu dụng}}$$

- Phần lớn các vôn-kế điện tử đo tín hiệu xoay chiều được định chuẩn theo trị hiệu dụng của tín hiệu sin.

Ví dụ: Trị chỉnh lưu trung bình toàn sóng (hai bán kỲ) của tín hiệu sin.

$$U_{cltb} = (2/\pi)U_m \quad (U_m - biên độ tín hiệu sin); \quad U_{hd} = U_m/\sqrt{2}$$

$$\text{Do đó hệ số dạng: } K_f = \frac{U_m/\sqrt{2}}{(2/\pi)U_m} = \frac{\pi}{2\sqrt{2}} = 1,11$$

- Trong trường hợp tín hiệu không sin trị số K_f nhỏ hoặc lớn hơn 1,11 phụ thuộc vào dạng và tần số tín hiệu. Do đó nếu vôn-kế AC đo các trị số tín hiệu *không sin* sẽ có sai số cho trị số đo khi thang đo được chuẩn theo giá trị hiệu dụng của tín hiệu hình sin (cách chia vạch đo theo hình sin).

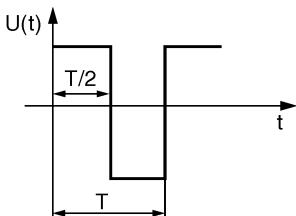
Ví dụ: Tín hiệu xung vuông có dạng sau đây:

$$\text{Trị hiệu dụng: } U_{hd} = \left[\frac{1}{T} \int_0^T u^2 dt \right]^{1/2} = U_m$$

Trị chỉnh lưu trung bình (hai bán kỲ).

$$U_{cltb} = \frac{2}{T} \int_0^{T/2} u_{cl} t = U_m$$

$$\text{Hệ số dạng: } K_f = 1 = \frac{U_{hd}}{U_{cltb}}$$



Trong khi đó nếu là tín hiệu sin thì $K'_f = 1,11$. Như vậy sai số khi đo tín hiệu xung vuông này bằng vôn-kế định chuẩn theo trị hiệu dụng của tín hiệu sin: $\varepsilon_r = \frac{1,11 - 1}{1,11} \times 100\% \approx 10\%$

Ví dụ: Trị hiệu dụng của tín hiệu xung vuông là 1V thì vôn-kế được định chuẩn bởi tín hiệu sin sẽ chỉ sai đi: $10\% \times 1V = 0,10V$. Nghĩa là chỉ thị số 1,10V

(hiệu dụng).

2.6.2 Phương pháp trị chỉnh lưu trung bình

Hình thức chỉnh lưu trước rồi khuếch đại sau

Đối với tín hiệu AC có trị số lớn chúng ta dùng diod trước. Điện áp chỉnh lưu trung bình được đưa vào mạch đo điện áp DC.

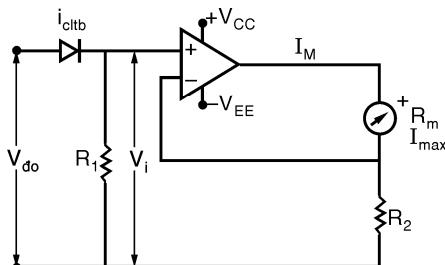
V_i là trị chỉnh lưu trung bình.

$$V_i = i_{cltb} R_1$$

$$I_M = \frac{i_{cltb} R_1}{R_2}$$

i_{cltb} được tính như ở phần *do điện* dùng phương pháp chỉnh lưu.

Hình thức khuếch đại trước rồi chỉnh lưu sau



Hình 2.48: Mạch chỉnh lưu trước khuếch đại sau

Hình 2.49: Mạch khuếch đại chuyển đổi áp sang dòng có cầu chỉnh lưu

Mạch được diễn tả ở hình 2.49. Trong mạch đo này ta dùng bộ chỉnh lưu, điện áp rơi trên diod là V_D , để cho điện áp rơi trên diod không ảnh hưởng bởi mạch đo, chúng ta dùng mạch khuếch đại trên theo hình 2.49; I_M : dòng chỉnh lưu trung bình được xác định theo biểu thức:

$$I_M = \frac{|V_{\tilde{D}o}|}{R_2}; |V_{\tilde{D}o}|: \text{ trị chỉnh lưu trung bình của } V_{\text{d}\ddot{\text{o}}} \text{ bằng cầu diod.}$$

Ví dụ: $V_{\text{d}\ddot{\text{o}}} = 1\text{V(RMS)}$; $R_2 = 10k\Omega$

$$|V_{\tilde{D}o}| \approx 0,636 \times \sqrt{2} \times 1\text{V(RMS)} = 0,9\text{V}; \text{ thì: } I_M = \frac{0,9\text{V}}{10k\Omega} = 90\mu\text{A}$$

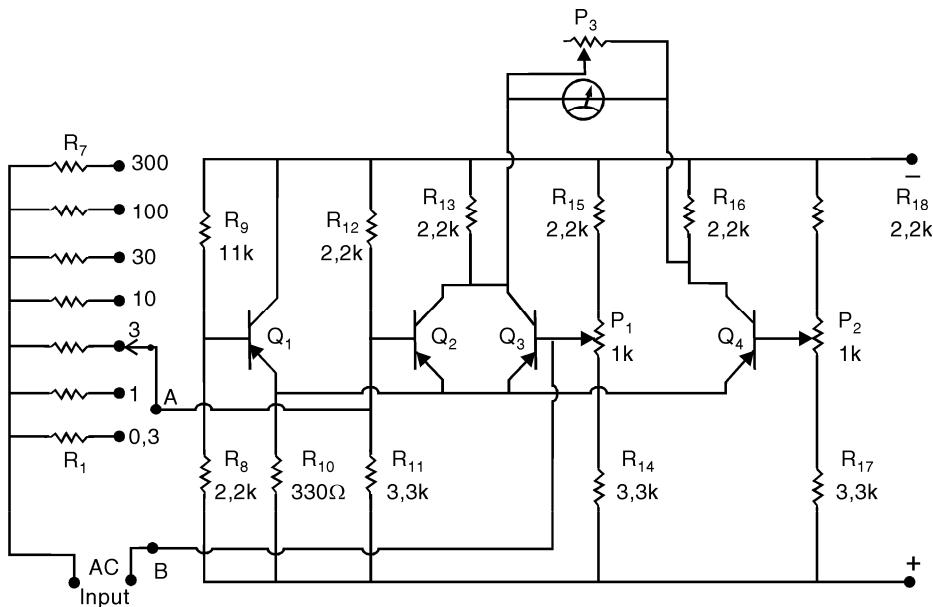
2.6.3 Phương pháp trị hiệu dụng thực

Theo ý nghĩa về trị hiệu dụng của tín hiệu đo là căn bậc hai trị trung bình của bình phương trị số đo được diễn tả bằng biểu thức:

$$V_{hd}(RMS) = \left[\frac{1}{T} \int_0^T v_i^2 dt \right]^{1/2}$$

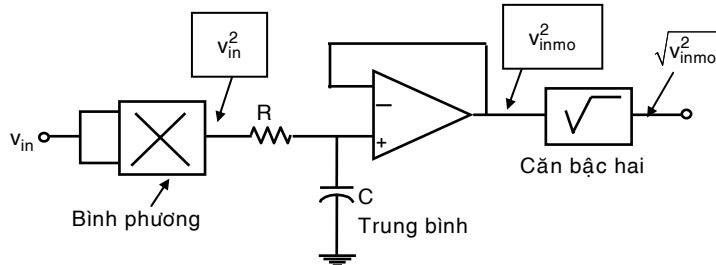
Cho nên chúng ta dùng mạch cho *trị bình phương* tín hiệu vào ở ngõ ra như sau:

Trong thực tế mạch đo dùng phương pháp trị hiệu dụng thực hiện như hình 2.50. Trong mạch đo này Q_2 và Q_3 tạo thành mạch cầu đo (mạch khuếch đại vi sai) loại bỏ thành phần DC (một chiều). Biến trở P_1 được điều chỉnh sự phân cực để cho mạch hoạt động ở phần phi tuyến (mạch bình phuong) cho tín hiệu vào có trị số nhỏ.



Hình 2.50: Mạch cho trị hiệu dụng thực dùng transistor

Do đó để cho mạch hoạt động vi sai ở ngõ vào của mạch đo, trước hết nối tắt ngõ vào AB của mạch đo, điều chỉnh P_2 để có điện áp ra của mạch đo bằng 0 (mạch đo cân bằng). Tần khuếch đại Q_1 nhằm mục đích bù nhiệt cho sự phân cực Q_2, Q_3, Q_4 khi nhiệt độ thay đổi. Hiện nay có những vi mạch tổng hợp IC được chế tạo, có nhiệm vụ tạo ra trị hiệu dụng thực cho tín hiệu đo như AD531 (Analog device) và 4301 (burrown). Sơ đồ khối được diễn tả trong hình 2.51. Trong IC có 3 mạch:



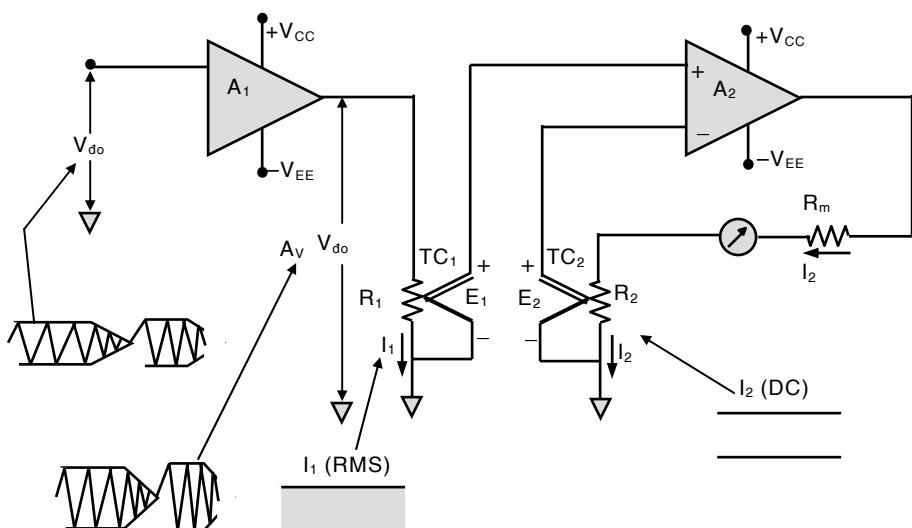
hợp IC được chế tạo, có nhiệm vụ tạo ra trị hiệu dụng thực cho tín hiệu đo như AD531 (Analog device) và 4301 (burrown). Sơ đồ khối được diễn tả trong hình 2.51. Trong IC có 3 mạch:

Hình 2.51: IC cho trị hiệu dụng thực

- Mạch nhân để có trị số bình phương
- Mạch lấy trị trung bình
- Mạch lấy căn bậc hai.

Tín hiệu ở ngõ ra của mạch lấy trung bình xem như được nhân với một hệ số của thang đo điều chỉnh được.

Do đó có thể viết trị trung bình: $V_{in}^2/E_o = E_o$; để cho: $E_o = \sqrt{V_i^2}$



Hình 2.52: Mạch đo dùng phương pháp trị hiệu dụng bằng bộ biến đổi nhiệt diện TC_1 và TC_2

Ngoài ra, trong phương pháp trị hiệu dụng thực chúng ta dùng bộ biến đổi nhiệt điện để chuyển đổi trị hiệu dụng của tín hiệu đo ở dạng bất kỳ, tần số bất kỳ sang tín hiệu DC như hình 2.52. Mạch đo gồm mạch khuếch đại băng thông rộng A_1 (*video amplifier*) tín hiệu đo được khuếch đại tạo ra dòng điện I_1 có trị hiệu dụng đốt nóng điện trở R_1 của bộ biến đổi nhiệt điện TC_1 (nếu $V_{\text{đo}}$ có trị hiệu dụng không đổi) thì I_1 (RMS) không đổi tạo ra nhiệt lượng không đổi cho cặp nhiệt điện để tạo ra điện áp DC. E_1 đưa vào ngõ (+) của mạch khuếch đại A_2 tạo ra dòng I_2 (DC) qua cơ cấu chỉ thị.

Nếu năng lượng đo của V_{do} được duy trì thì I_2 (DC) cũng được duy trì sẽ cung cấp năng lượng qua R_2 của bộ biến đổi nhiệt điện TC_2 . Như vậy sẽ có điện áp E_2 (DC) khử trừ sự gia tăng E_1 (DC) do năng lượng đo được duy trì. Ngoài ra bộ biến đổi TC_2 còn dùng để bù nhiệt cho bộ biến đổi TC_1 khi nhiệt độ môi trường thay đổi.

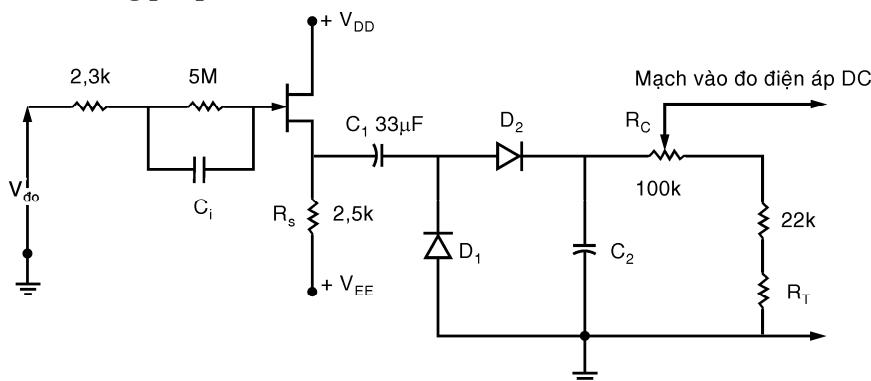
Nếu đặc tính nhiệt của hai bộ biến đổi TC₁ và TC₂ giống nhau thì điện áp ra V_o : $V_o = \sqrt{R_2/R_1} A_V V_{\tilde{n}o}$. Nếu $R_1 = R_2$ thì

$$V_o = A_V \bar{V}_{\tilde{n}o} \Rightarrow \bar{V}_{\tilde{n}o} = V_o / A_V$$

với: V_o - tri số DC; \bar{V}_{no} - tri hiệu dung

A_V - hệ số khuếch đại của mạch đo.

2.6.4 Phương pháp trị đính



Hình 2.53: Mach đo điện áp AC dùng mach nhân đôi điện áp

Mạch biến đổi trị số tín hiệu đo có thành phần xoay chiều thành tín hiệu DC có trị số bằng trị đỉnh. Đỉnh của tín hiệu đo bằng mạch nhân đôi điện áp hoặc mạch kẹp.

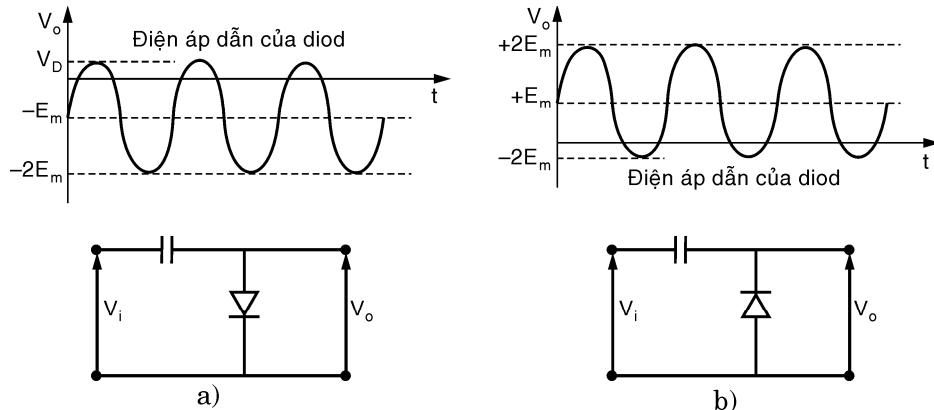
Mạch nhân đôi điện áp

Đây là mạch đo cụ thể dùng phương pháp nhân đôi điện áp mạch khuếch đại Q_1 , dùng JFET kênh N làm nhiệm vụ *mạch đệm* giữa mạch phân tần đo và mạch nhân đôi điện áp. Mạch nhân đôi điện áp bao gồm C_1 , C_2 và D_1 , D_2 . Biến trở R_C dùng để điều chỉnh điện áp DC ở ngõ ra của mạch nhân đôi điện áp.

Mạch kẹp: Mạch kẹp (H.2.54) diễn tả điện áp ra DC dương hay âm phụ thuộc chiều của diod.

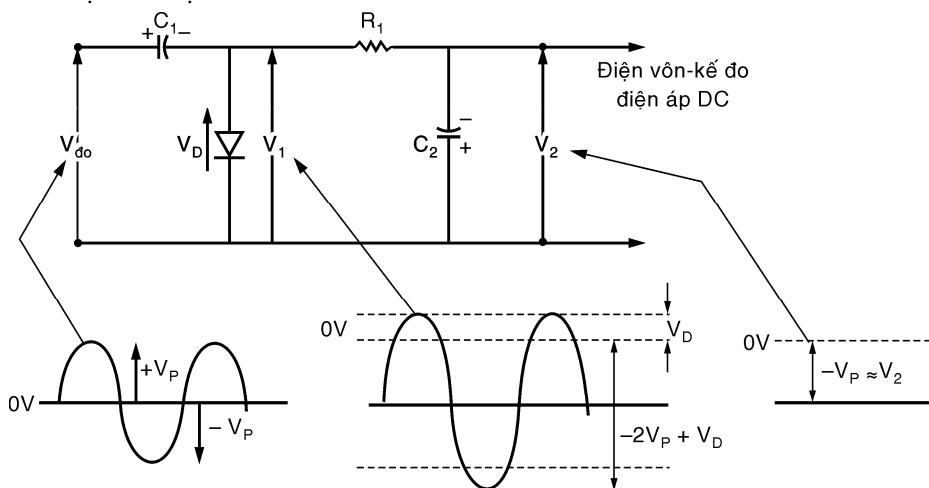
$$\text{Hình 2.54a: } V_o = -E_m + V_i \text{ với } V_i = E_m \sin \omega t$$

$$\text{Hình 2.54b: } V_o = E_m + V_i = E_m + E_m \sin \omega t$$



Hình 2.54: a) Mạch kẹp đỉnh dương; b) Mạch kẹp đỉnh âm

Mạch đo cụ thể:



Hình 2.55: Mạch kẹp và mạch lọc hạ thông

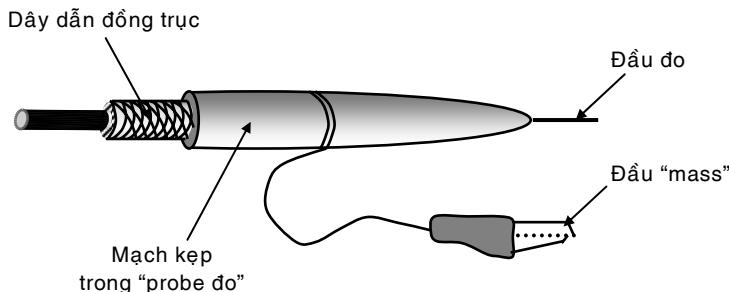
Tín hiệu ra V_o của mạch kẹp cho tín hiệu DC thay đổi, có trị số $-2V_p + V_D V_p$ trị đỉnh của tín hiệu.

Dạng tín hiệu V_o ở mạch kẹp đỉnh dương.

Điện áp DC âm: $V_o \approx -2 E_m + V_D$

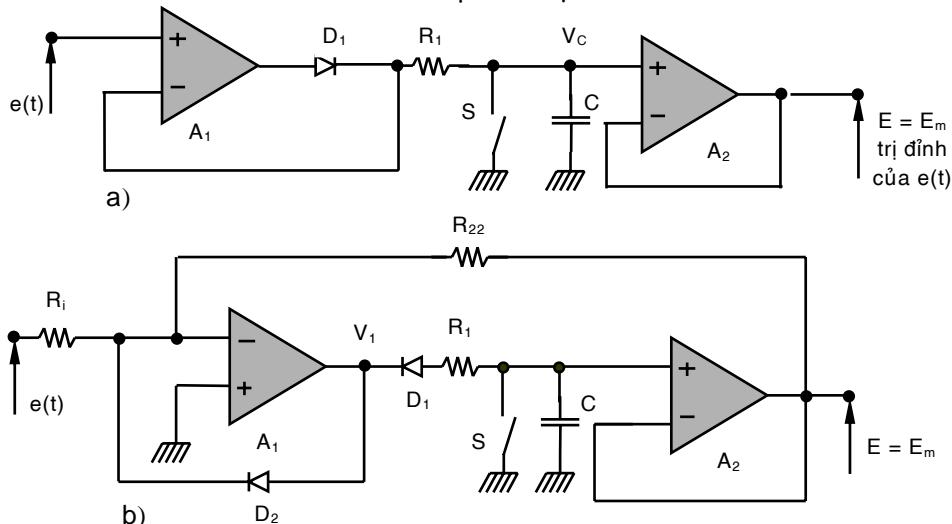
Dạng tín hiệu V_o ở mạch kẹp đỉnh âm.

Điện áp DC dương: $V_o \approx 2 E_m - V_D$



Sau đó được đưa vào mạch lọc *hạ thông* để cho tín hiệu DC không thay đổi V_2 , có trị số gần bằng $-V_p$. Điện áp này được đưa vào mạch đo điện áp DC của vôn-kế điện tử. Trong thực tế *mạch kẹp* được nằm trong *probe đo* (thanh đo) được gọi là *probe AC* kết hợp vôn-kế điện tử đo điện áp DC.

Hình 2.56: Mạch đo trị đỉnh



a) Mạch đo trị đỉnh không có hồi tiếp; b) Mạch đo trị đỉnh có hồi tiếp

Hình 2.56a: Khi $e(t) < V_C$ diode D ngưng dẫn. Khi $e(t) > V_C$ diode D dẫn

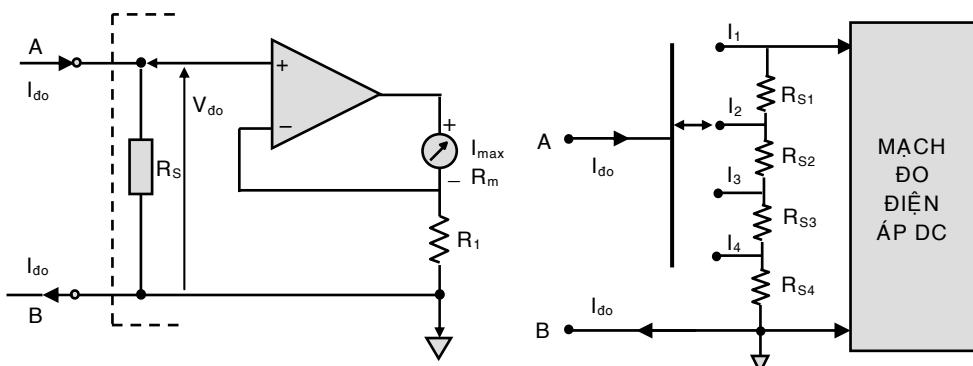
điện. $V_C = e(t)$ tụ điện nạp đến điện thế đỉnh của $e(t)$ bằng E_m . Mạch khuếch đại theo điện áp (hệ số khuếch đại bằng 1) có nhiệm vụ ngăn cách tụ C với ngõ ra của mạch đo. Khóa S dùng để xả điện cho tụ C để chuẩn bị cho chu trình đo kế tiếp. Điện trở R_I có nhiệm vụ ngăn không cho mạch khuếch đại A_I dao động khi điện dung nạp điện. Khuyết điểm lớn nhất của mạch đo là sự bão hòa của A_I khi $e(t) < V_C$, bởi vì mạch đo không có hồi tiếp âm. Hiện tượng này làm đáp ứng tần số của mạch bị giới hạn.

Hình 2.56b: Tín hiệu trong mạch đo có cải tiến hơn so với mạch đo trước là hoạt động với tần số lớn hơn. Mạch khuếch đại A_I là mạch khuếch đại đảo dấu. Khi $e(t)$ vượt qua trị số $-V_C$, V_I trở nên âm và D_1 dẫn. Sự hồi tiếp âm trong hai mạch khuếch đại cho điện áp ra $E = -E_m$ điện áp rơi trên diod và điện áp sai lệch (do sự không đối xứng) của mạch khuếch đại A_2 bị loại bỏ. Khi $e(t)$ giảm V_I tăng đến trị số ngưng dẫn của diod D_1 để cho sự hồi tiếp âm qua R_2 làm cho diod D_2 dẫn để tránh sự bão hòa của mạch khuếch đại A_I . Trị số đỉnh dương của $e(t)$ được đảo dấu và nạp vào tụ C . Như vậy không có dòng điện rỉ nào qua diod D_1 và tổng trở vào của A_2 rất lớn. Muốn đảo cực tính E thì đảo chiều diod D_1 và D_2 .

2.7 AMPE-KẾ ĐIỆN TỬ ĐO DÒNG AC VÀ DC

2.7.1 Đo dòng DC

□ Nguyên lý đo dòng DC trong ampe-kế điện tử là chuyển dòng điện đo I_{do} thành điện áp đo bằng cách cho dòng điện đo I_{do} qua điện trở R_S theo mạch đo nguyên lý sau (H.2.57).



Hình 2.57: Maich ño doøng DC

Hình 2.58: Maich phaân taàm ño doøng ñieän

□ Phân tần đo dòng điện bằng cách thay đổi điện trở (H.2.58).

Tần đo $I_4 > I_3 > I_2 > I_1$; cho nên tần đo càng lớn thì điện trở R_S càng giảm.

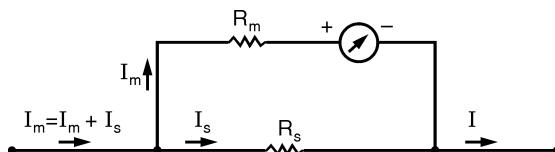
2.7.2 Đo dòng AC

Nguyên lý đo: để đo dòng AC thì chúng ta chuyển dòng điện AC thành điện áp AC bằng điện trở R_S như trong trường hợp đo dòng DC. Sau đó chuyển điện áp đo AC thành điện áp DC bằng những phương pháp đo điện áp AC như đã nói ở phần trên.

BÀI TẬP

2.1. Một ampe-kế dùng cơ cấu đo từ điện có điện trở cơ cấu $R_{(m)} = 99\Omega$ và dòng làm lêch tối đa $I_{max} = 0,1mA$. Điện trở shunt $R_S = 1\Omega$. Tính dòng điện tổng cộng đi qua ampe-kế trong các trường hợp:

- Kim lêch tối đa.
- $0,5D_m$; ($FSD = I_{max}$, full scale deviation).
- $0,25D_m$.



Hình B.2.1

Giải: a) Kim lêch tối đa D_m

Điện áp hai đầu cơ cấu đo.

$$V_m = I_m R_m = 0,1mA \times 99\Omega = 9,9mV$$

$$I_s R_S = V_m \Rightarrow I_s = \frac{V_m}{R_S} = \frac{9,9mV}{1\Omega} = 9,9mA$$

Dòng tổng cộng: $I = I_s + I_m = 9,9mA + 0,1mA = 10mA$.

$$b) 0,5 D_m: \quad I_m = 0,5 \times 0,1mA = 0,05mA$$

$$V_m = I_m R_m = 0,05mA \times 99\Omega = 4,95mV$$

$$I_s = \frac{V_m}{R_S} = \frac{4,95mV}{1\Omega} = 4,95mA$$

$$I = I_s + I_m = 4,95mA + 0,05mA = 5mA$$

c) $0,25 D_m: I_m = 0,25 \times 0,1mA = 0,025mA$

$$V_m = I_m R_m = 0,025mA \times 99\Omega = 2,475mV$$

$$I_o = \frac{V_m}{R_S} = \frac{2,475mV}{1\Omega} = 2,475mV$$

$$I = I_s + I_m = 2,475mA + 0,025mA = 2,5mA.$$

2.2. Một cơ cấu đo từ điện có $I = 100\mu A$, điện trở nội khung quay $R = 1k\Omega$. Tính điện trở shunt mắc vào cơ cấu đo để trở thành một ampe-kế tương ứng với các trường hợp hình B.2.1.

a) $D_m = 100 mA$ = tầm đo 1.

b) $D_m = 1A$ = tầm đo 2.

Giải: a) Ở tầm đo $100mA$.

$$V_m = I_m R_m = 100\mu A \times 1k\Omega = 100mV$$

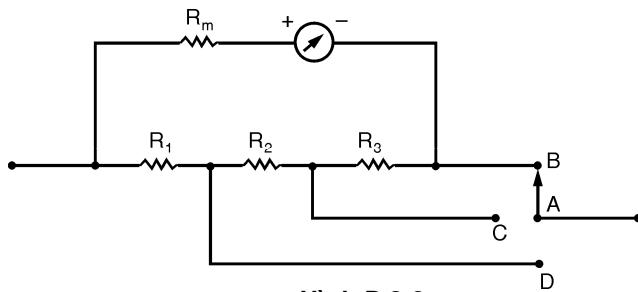
$$I_t = I_s + I_m \Rightarrow I_s = I_t - I_m = 100mA - 100\mu A = 99,9mA$$

$$R_S = \frac{V_m}{I_s} = \frac{100mV}{99,9mA} = 1,001\Omega$$

b) Ở tầm đo $1A$: $V_m = I_m R_m = 100mV$

$$I_s = I_t - I_m = 1A - 100\mu A = 999,9mA; R_S = \frac{V_m}{I_s} = \frac{100mV}{999,9mA} = 0,10001\Omega$$

2.3. Một cơ cấu đo từ điện có ba điện trở shunt được mắc theo kiểu shunt ayrtion sử dụng làm ampe-kế. Ba điện trở có trị số: $R_1 = 0,05\Omega$, $R_2 = 0,45\Omega$; $R_3 = 4,5\Omega$; $R_m = 1k\Omega$; $I_{max} = 50\mu A$, có mạch đo như hình B.2.3. Tính các trị số tầm đo của ampe-kế.



Hình B.2.3

Giải: Khóa điện ở B:

$$V_s = I_{max} R_m = 50\mu A \times 1k\Omega = 50mV.$$

$$I_s = \frac{V_s}{R_1 + R_2 + R_3} = \frac{50mV}{0,05\Omega + 0,45\Omega + 4,5\Omega} = 10mA$$

$$I_t = I_s + I_m = 50\mu A + 10mA = 10,05mA; I = 10mA.$$

Khóa điện ở C:

$$V_s = I_m (R_m + R_3) = 50\mu A (1k\Omega + 4,5\Omega) \approx 50mV.$$

$$I_s = \frac{V_s}{(R_1 + R_2)} = \frac{50mV}{(0,05\Omega + 0,45\Omega)} = 100mA$$

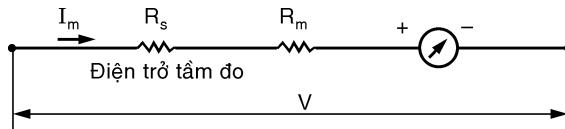
$$I = 50\mu A + 100mA = 100,05mA. I \approx 100mA.$$

Khóa điện ở D:

$$V_5 = I_m (R_m + R_3 + R_2) = 50\mu A (1k\Omega + 4,5\Omega + 0,45\Omega) \approx 50mV$$

$$I_s = \frac{V_s}{R_1} = \frac{50mV}{0,05\Omega} = 1A. I = 50\mu A + 1A = 1,00005A \approx 1A$$

2.4. Một cơ cấu đo từ điện $I_{max} = 100\mu A$, điện trở nội (dây quấn) $R_m = 1k\Omega$ được sử dụng làm vôn-kế DC. Tính điện trở tầm đo để vôn-kế có $V_{td} = 100V$. Tính điện áp V ở hai đầu vôn-kế khi kim có độ lệch $0,75D_m$; $0,5D_m$; và $0,25D_m$ (độ lệch tối đa D_m).



Hình B.2.4

Giải: $V = I_M (R_S + R_m) \Rightarrow R_S = \frac{V}{I_m} - R_m$

Khi: $V = V_{td} = 100V \Rightarrow IM = I_{max} = 100\mu A$

$$R_S = \frac{100V}{100\mu A} - 1k\Omega = 999k\Omega.$$

Tại độ lệch $0,75$ (FSD) D_m

$$I_m = 0,75 \times 100 \mu A = 75\mu A$$

$$V = I_m (R_S + R_m) = 75\mu A (999k\Omega + 1k\Omega) = 75V$$

Tại độ lệch $0,5$ (FSD) D_m : $I_m = 50\mu A$

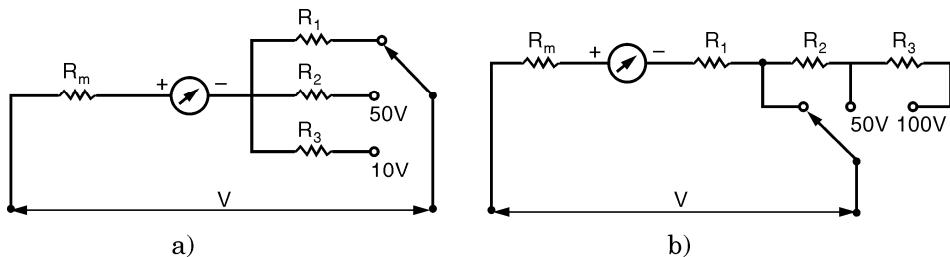
$$V = 50\mu A (999k\Omega + 1k\Omega) = 50V.$$

Tại độ lệch $0,25$ (FSD) D_m : $I_m = 25\mu A$

$$V = 25\mu A (999k\Omega + 1k\Omega) = 25V.$$

2.5. Một cơ cấu đo từ điện có $I_{max} = 50\mu A$; $R_m = 1700\Omega$ được sử dụng làm vôn-kế DC có tầm đo $10V$, $50V$, $100V$. Tính các điện trở tầm đo theo hình B.2.5a,b

nhusau:



Hình B.2.5

Giải: Theo hình B.2.5a: $R_m + R_1 = \frac{V}{I_{\max}}$

$$\Rightarrow R_1 = \frac{V}{I_{\max}} - R_m = \frac{10V}{50\mu A} - 1700\Omega = 198,3k\Omega$$

$$R_2 = \frac{50V}{50\mu A} - 1700\Omega = 998,3k\Omega$$

$$R_3 = \frac{100V}{50\mu A} - 1700\Omega = 1,9983M\Omega$$

Theo hình B.2.5b: $R_m + R_1 = \frac{V_1}{I_{\max}}$

$$R_1 = \frac{V_1}{I_{\max}} - R_m = \frac{10V}{50\mu A} - 1700\Omega = 198,3k\Omega, R_m + R_1 + R_2 = \frac{V_2}{I_m}$$

$$R_2 = \frac{V_2}{I_{\max}} - R_1 - R_m = \frac{50V}{50\mu A} - 198,3k\Omega - 1700\Omega = 800k\Omega$$

$$R_m + R_1 + R_2 + R_3 = \frac{V_3}{I_{\max}} \Rightarrow R_3 = \frac{V_3}{I_m} - R_2 - R_1 - R_m$$

$$= 100V/50\mu A - 800k\Omega - 198,3k\Omega - 1700\Omega = 1M\Omega$$

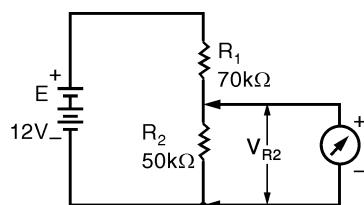
2.6. Một vôn-kế có tầm đo 5V, được mắc vào mạch, đo điện áp hai đầu điện trở R₂ như hình B.2.6.

a) Tính điện áp V_{R2} khi chưa mắc vôn-kế.

b) Tính V_{R2} khi mắc vôn-kế, có độ nhạy 20kΩ/V

c) Tính V_{R2} khi mắc vôn-kế, có độ nhạy 200kΩ/V.

Giải: Chưa mắc vôn-kế:



Hình B.2.6

$$V_{R2} = E \frac{R_2}{R_1 + R_2} = 12V \frac{50k\Omega}{70k\Omega + 50k\Omega} = 5V$$

Với vôn-kế có độ nhạy $20k\Omega/V$

$$R_v = 5V \times 20k\Omega/V = 100k\Omega$$

$$R_v // R_2 = 100k\Omega // 50k\Omega = 33,3k\Omega$$

$$V_{R2} = E \frac{R_v // R_2}{R_1 + R_v // R_2} = 12V \frac{33,3k\Omega}{70k\Omega + 33,3k\Omega} = 3,87V$$

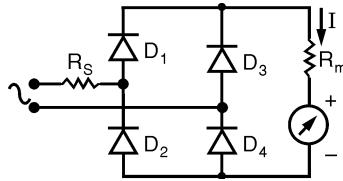
Với vôn-kế có độ nhạy $200k\Omega/V$

$$R_v = 5V \times 200k\Omega/V = 1M\Omega$$

$$R_v // R_2 = 1M\Omega // 50k\Omega = 47,62k\Omega$$

$$V_{R2} = 12V \frac{47,62k\Omega}{70k\Omega + 47,62k\Omega} = 4,86V$$

2.7. Một cơ cấu đo từ điện có $I_{fs} = 100\mu A$ và điện trở cơ cấu đo $R_m = 1k\Omega$ được sử dụng làm vôn-kế AC có V tầm đo = 100V (RMS). Mạch chỉnh lưu có dạng cầu sử dụng diod silicon như hình B.2.7, diod có $V_{F(dịnh)} = 0,7V$.



Hình B.2.7

a) Tính điện trở nối tiếp R_s ?

b) Tính độ lệch của vôn-kế khi điện áp đưa vào vôn-kế là 75V và 50V (trị hiệu dụng – RMS)

c) Tính độ nhạy của vôn-kế. Tín hiệu đo là tín hiệu xoay chiều dạng sin.

Giải: a) *Tính R_s :* Đây là mạch chỉnh lưu toàn kỲ nên ta có quan hệ:

$$I_P(\text{trò dæh}) = I_{tb}/0,637$$

$$V_m(\text{trò næh}) = \sqrt{2} V \text{ (RMS: trị hiệu dụng).}$$

$$\text{Cơ cấu đo có: } I_{fs} = I_{tb} = 100\mu A \Rightarrow I_P = \frac{100\mu A}{0,637} = 157\mu A$$

$$\begin{aligned} \text{Ta có: } I_m &= \frac{1,414V_{td} - 2V_F}{R_S + R_m} \Rightarrow R_S = \frac{1,414V_{td} - 2V_F}{I_P} - R_m \\ &= \frac{(1,414 \times 100V) - (2 \times 0,7V)}{157\mu A} - 1k\Omega = 890,7k\Omega \end{aligned}$$

Tính độ lệch: $\square V = 75V$.

$$I_{tb} = 0,637 I_m = 0,637 \frac{1,414V - 2V_F}{R_S + R_m} = 0,637 \frac{(1,414 \times 75V) - (2 \times 0,7V)}{890,7k\Omega + 1k\Omega}$$

$I_{tb} = 75\mu A = 3/4$ độ lệch tối đa. (I_m : dòng đỉnh khi $V = 75V$)

$\square V = 50V$.

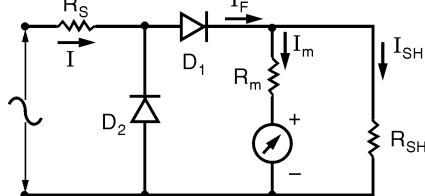
$$I_{tb} = 0,637 \frac{(1,414 \times 50V) - (2 \times 0,7V)}{890,7k\Omega + 1k\Omega} = 50\mu A = \frac{1}{2} \text{ độ lệch tối đa}$$

\square Tính độ nhạy:

$$I_m = 157\mu A \Rightarrow I(\text{RMS}) = 0,707I_p = 0,707 \times 157\mu A = 111\mu A$$

$$\text{Tổng trớ: } R = \frac{100V}{111\mu A} = 900,9k\Omega . \text{ Độ nhạy} = \frac{900,9k\Omega}{100V} = 9,009k\Omega/V$$

2.8. Một cơ cấu đo từ điện có: $I_{fs} = 50\mu A$; $R_m = 1700\Omega$ kết hợp với mạch chỉnh lưu bán kỵ như hình B.2.8. Diod silicon D_1 có trị giá dòng điện thuận I_F (đỉnh) tối thiểu là $100\mu A$. Khi điện áp đo bằng $20\% V_{tdm}$ do, diod có $V_F = 0,7V$. Vôn-kế có $V_{tâm do} = 50V$.



Hình B.2.8

b) Tính độ nhạy của vôn-kế trong hai trường hợp: có D_2 và không có D_2 .

Giải: a) Tính R_S và R_{SH}

Ở đây sử dụng chỉnh lưu bán kỵ nên ta có:

$$I_p = I_{tb}/(0,5 \times 0,637): \text{ trị đỉnh trong trường hợp chỉnh lưu bán kỵ.}$$

$$\text{Cơ cấu đo có } I_{fs} = I_{tb} = 50\mu A \Rightarrow I_m = \frac{50\mu A}{0,5 \times 0,637} = 157\mu A \text{ (trị đỉnh)}$$

Khi $V = 20\% V_{td}$, $I_{F(\text{đỉnh})}$ có trị giá $100\mu A$. Vậy khi $V = V_{td}$, $I_{F(\text{đỉnh})}$ có trị giá:

$$I_{F(\text{ngh})} = \frac{100\%}{20\%} \times 100\mu A = 500\mu A$$

$$I_F = I_m + I_{SH} \Rightarrow I_{SH(dinh)} = I_F - I_m = 500\mu A - 157\mu A = 343\mu A$$

$$V_{p(dinh)} = I_m R_m = 157\mu A \times 1700\Omega = 266,9mV$$

$$R_{SH} = \frac{V_{m(\text{nh}\ddot{\text{a}}\text{h})}}{I_{SH(\text{nh}\ddot{\text{a}}\text{h})}} = \frac{266,9mV}{343\mu A} = 778\Omega$$

$$I_{F(\text{nh}\ddot{\text{a}}\text{h})} = \frac{1,414V_{t\bar{n}} - V_{m(\text{nh}\ddot{\text{a}}\text{h})} - V_F}{R_S}$$

$$R_S = \frac{1,414V_{t\bar{n}} - V_{m(\text{nh}\ddot{\text{a}}\text{h})} - V_F}{I_{F(\text{nh}\ddot{\text{a}}\text{h})}} = \frac{(1,414 \times 50V - 266,9mV - 0,7V)}{500\mu A} = 139,5k\Omega$$

b) Tính độ nhạy.

□ Có D_2 : trong bán kỲ dương, dòng qua D_1 có trị giá đỉnh:

$$I_{F(dinh)} = 500\mu A$$

Trong bán kỲ âm, dòng qua vôn-kẾ $I_{(dinh)}$:

$$I_{(\text{nh}\ddot{\text{a}}\text{h})} = \frac{1,414V_{t\bar{n}}}{R_S} = \frac{1,414 \times 50V}{139,5k\Omega} = 500\mu A$$

$$I_{(hiệu dụng)} = 0,707 \times 500 \mu A = 353,5\mu A (\text{RMS})$$

$$\text{Tổng trỞ: } R = \frac{50V(\text{RMS})}{353,5\mu A(\text{RMS})} = 141,4k\Omega ;$$

$$\text{Độ nhạy} = \frac{141,4k\Omega}{50V} = 2,8k\Omega/V$$

□ Không có D_2

Trong bán kỲ dương: $I_{F(dinh)} = 500\mu A$. Trong bán kỲ âm: $I = 0$

Trong chu kỳ của tín hiệu:

$$I_{(hiệu dụng)} = 0,5 I_{F(dinh)}$$

với I là dòng điện mạch chính chạy qua R_s trong bán kỲ dương.

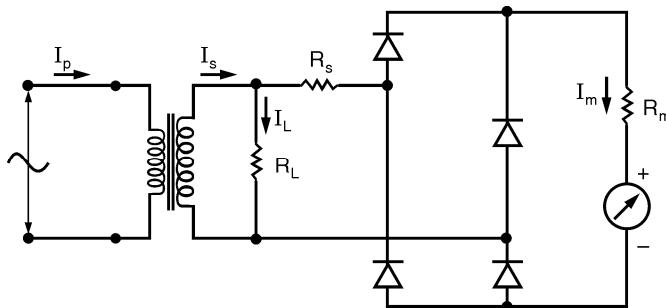
$$I_{(hiệu dụng)}^2 = \frac{I}{2T} \int_0^{T/2} (I_F \sin \omega t)^2 dt = \frac{I_{F(\text{nh}\ddot{\text{a}}\text{h})}^2}{4}$$

$$I = 0,5 \times 500\mu A = 250\mu A$$

$$\text{Tổng trỞ: } R = \frac{50V}{250\mu A} = 200k\Omega . \text{Độ nhạy} = \frac{200k\Omega}{50V} = 4k\Omega/V$$

2.9. Một ampe-kẾ sử dụng cơ cấu đo từ điện có cầu chỉnh lưu và biến dòng như hình vẽ. Biết rằng cơ cấu đo có $I_{fs} = 1mA$ và $R_m = 1700\Omega$. Biến dòng có $N_{thứ} =$

500; $N_{sô} = 4$. Diod có: $V_{F(dinh)} = 0,7V$; $R_s = 20k\Omega$. ampe-kế lêch tối đa khi dòng sơ cấp $I_p = 250 mA$. Tính trị giá R_L .



Hình B.2.9

Giải: Chính lưu toàn kỲ nên ta có:

$$I_m(\text{trị định}) = \frac{I_{tb}}{0,637} = \frac{1mA}{0,637} = 1,57mA$$

Điện áp E_m ở hai đầu cuộn thứ biến dòng (trị định):

$$E_m = I_m(R_s + R_m) + 2V_F = 1,57mA(20k\Omega + 1700\Omega) + 1,4V = 35,5V$$

$$\Rightarrow E_s(\text{trị hiệu dụng}) = (0,707 \times 35,5V) = 25,1V$$

Dòng làm lêch tối đa cơ cấu đo có trị hiệu dụng I :

$$I = 1,11I_{tb} = 1,11 \times 1mA = 1,11mA$$

$$\text{Ta có: } I_{thoát} = I_{sô} \frac{N_{sô}}{N_{thoát}} = 250mA \frac{4}{500} = 2mA$$

$$I_{thu} = I_{qua cơ cấu đo} + I_L; 2mA = 1,11mA + I_L$$

$$\Rightarrow I_L = 2mA - 1,11mA = 0,89mA; R_L = \frac{E_s}{I_L} = \frac{25,1V}{0,89mA} = 28,2k\Omega$$

2.10. Tính điện áp ở hai đầu cơ cấu đo từ điện (PMMC) có $R_m = 850\Omega$ và $I_{fs} = 100\mu A$ khi kim lêch tối đa.

ĐS: $85mV$.

2.11. Tính trị giá điện trở tầm đo cho cơ cấu đo từ điện có $I_{fs} = 200\mu A$, $R_m = 1k\Omega$ được sử dụng làm vôn-kế DC có $V_{td} = 150V$.

2.12. Tính dòng điện đi qua cơ cấu đo từ điện khi kim có độ lệch bằng $1/2$ độ lệch tối đa (FSD) biết rằng cơ cấu đo có độ nhạy là $20 \text{ k}\Omega/\text{V}$.

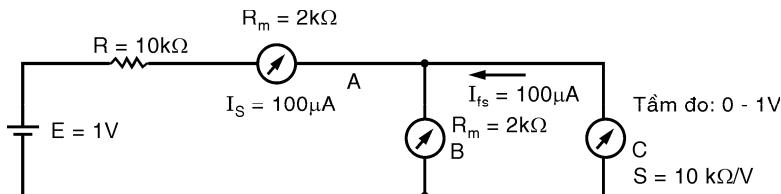
$$\text{ĐS: } 25\mu\text{A.}$$

2.13. Tính trị giá điện trở shunt để cho ampe-kế có: $I_{id} = 1\text{mA}$; $R_m = 103\Omega$ trở thành ampe-kế có $I_{id}(I_{lâm do}) = 150\text{mA}$.

2.14. Cơ cấu đo A có tầm đo từ 0 đến 10V và điện trở tầm đo là $18\text{k}\Omega$, cơ cấu đo B có tầm đo từ 0 đến 300V và điện trở tầm đo là $298\text{k}\Omega$, cả hai cơ cấu đo đều có điện trở dây quấn $R_m = 2\text{k}\Omega$. Hãy cho biết cơ cấu đo nào có độ nhạy lớn hơn.

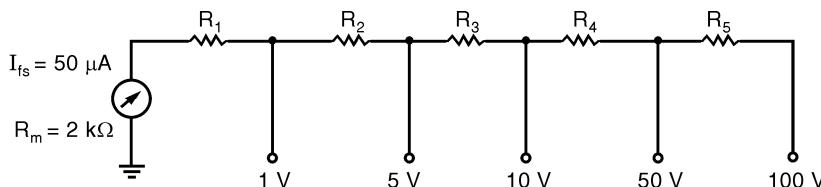
ĐS: Cơ cấu A.

2.15. Tính dòng điện chạy qua cơ cấu đo A, B như hình B.2.15.



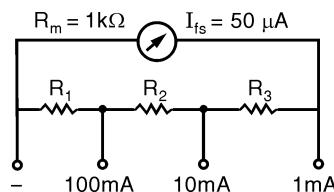
Hình B.2.15

2.16. Tính các trị giá điện trở từ R_1 đến R_5 như hình B.2.16.



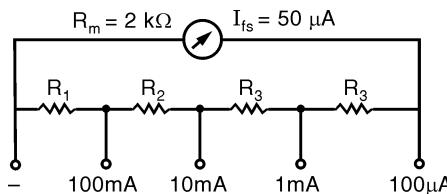
Hình B.2.16

2.17. Tính trị giá điện trở R_1 , R_2 , R_3 ở hình B.2.17.



Hình B.2.17

2.18. Tính trị giá điện trở R_1, R_2, R_3, R_4 trong hình B.2.18.

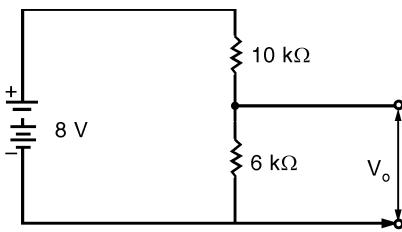


Hình B.2.18

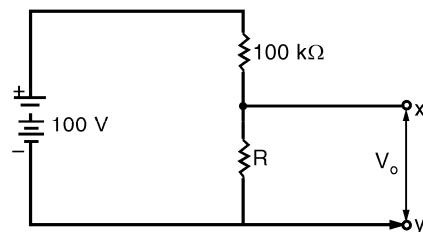
$$\text{ĐS: } R_1 = 1\Omega; R_2 = 9\Omega; R_3 = 90\Omega; R_4 = 900\Omega.$$

2.19. Ta đo điện áp ở hai đầu điện trở $6k\Omega$ trong mạch như hình B.2.19 bằng cách mắc vôn-kế ở hai đầu điện trở này, vôn-kế có độ nhạy $10k\Omega/V$. Giả sử vôn-kế có các tầm đo $1V, 5V, 10V$ và $100V$, hãy cho biết tầm đo nhạy nhất có thể sử dụng mà sai số gây ra do tải của vôn-kế nhỏ hơn 3% .

$$\text{ĐS: } \text{tầm đo } 100V.$$



Hình B.2.19



Hình B.2.20

2.20. Trong mạch đo sau, vôn-kế A có độ nhạy $5k\Omega/V$ được nối giữa X và Y chỉ $15V$ ở tầm đo $30V$. Vôn-kế B được nối giữa X và Y chỉ $16, 13V$ ở tầm đo $50V$. Tính độ nhạy của vôn-kế B.

2.21. Dòng điện đi qua cơ cấu đo có trị giá đỉnh $I_p = 150\mu A$. Tính trị giá I_{DC} nếu cơ cấu đo dùng mạch chỉnh lưu bán kỵ.

2.22. Dòng điện đi qua cơ cấu đo từ điện đo được là $0,8mA$. Tính trị giá đỉnh của dòng xoay chiều nếu cơ cấu đo sử dụng mạch chỉnh lưu toàn kỵ.

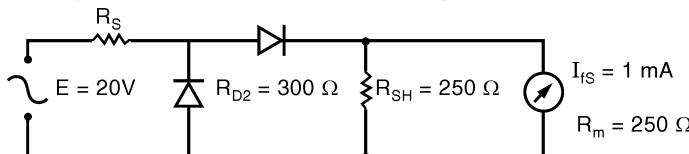
2.23. Một cơ cấu đo từ điện có $I_{fs} = 1mA$ và điện trở dây quấn $R_m = 500\Omega$ kết hợp với mạch chỉnh lưu bán kỵ để trở thành vôn-kế AC. Tính độ nhạy AC và DC, tính điện trở tầm đo để vôn-kế có $V_{td} = 30V$.

$$\text{ĐS: } S_{AC} = 450\Omega/V; S_{DC} = 1 k\Omega/V; R_s = 13,3 k\Omega.$$

2.24. Một cơ cấu đo từ điện có $I_{fs} = 200\mu A$ và điện trở dây quấn $R_m = 500\Omega$ được sử dụng làm vôn-kế AC bằng cách dùng mạch chỉnh lưu toàn

kỳ. Tính điện trở tầm đo để vôn-kế có $V_{td} = 50V$.

2.25. Tính độ nhạy AC và DC và điện trở R_s trong mạch đo (H.B.2.25).



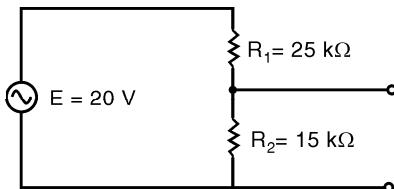
Hình B.2.25

2.26. Một vôn-kế AC đo trị giá đỉnh và một vôn-kế AC đo trị giá hiệu dụng được sử dụng để xác định tín hiệu nào có dạng sin. Hãy cho biết tín hiệu nào có dạng sin biết rằng kết quả đo có trị giá như sau:

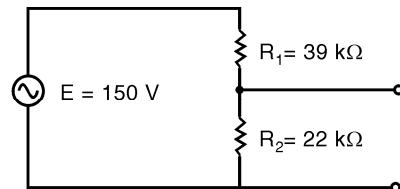
Tín hiệu 1	Tín hiệu 2	Tín hiệu 3
Đo trị giá đỉnh-đỉnh: 35,26V	Đo trị giá đỉnh-đỉnh 11,31V	Đo trị giá đỉnh-đỉnh 25,00V
Đo trị giá hiệu dụng: 12,00V	Đo trị giá hiệu dụng: 4,00V	Đo trị giá hiệu dụng: 8,83V

ĐS: Tín hiệu 2 và 3 có dạng sin.

2.27. Một vôn-kế AC được dùng để đo điện áp hai đầu điện trở R_2 như hình B.2.27. Biết rằng vôn-kế dùng cơ cấu đo từ điện có $I_{fs} = 100\mu A$, điện trở dây quấn $R_m = 1,5k\Omega$, sử dụng mạch chỉnh lưu bán kín và có $V_{td} = 10V$. Hãy cho biết trị giá đọc được trên vôn-kế.



Hình B.2.27



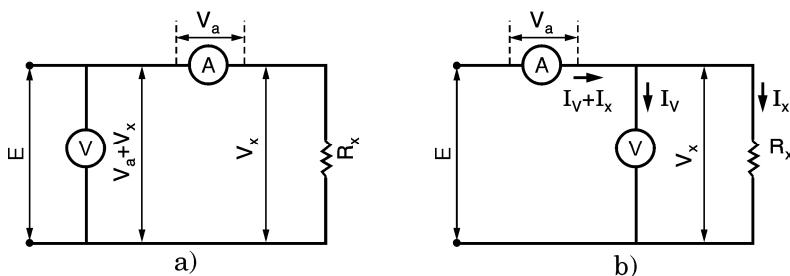
Hình B.2.28

2.28. Hai vôn-kế AC khác nhau được dùng để đo điện áp ở hai đầu điện trở R_2 như hình B.2.28. Vôn-kế A có độ nhạy AC là $10k\Omega/V$ và cấp chính xác là 2% và có $V_{td} = 200V$. Vôn-kế B có độ nhạy AC là $4k\Omega/V$, cấp chính xác là 1,5% và $V_{td} = 100V$. Cho biết vôn-kế nào cho ta kết quả chính xác hơn.

Chương 3

ĐO ĐIỆN TRỞ

3.1 ĐO ĐIỆN TRỞ BẰNG VÔN-KẾ VÀ AMPE-KẾ



Hình 3.1: a) Mạch đo R_x ; b) Mạch đo R_x

Đây là phương pháp xác định *phản tử điện trở* đang hoạt động (*đo nóng*) theo yêu cầu. Có hai cách mắc để đo điện trở:

Hình 3.1a: Vôn-kế mắc trước, ampe-kế mắc sau (lối mắc *rẽ dài*). Khi đó điện trở cần đo R_x được xác định bởi:

$$R_x = \frac{V}{I} \quad (3.1)$$

trong đó: V - cho bởi vôn-kế; I - cho bởi ampe-kế.

Theo mạch đo: $V = V_a + V_x$ (3.2)

với: V_a - điện áp rơi trên ampe-kế; V_x - điện áp rơi trên R_x .

Ta thấy có sai số trong việc xác định R_x do ảnh hưởng nội trở của ampe-kế. Nếu R_a (nội trở của ampe-kế) rất nhỏ so với R_x thì $V_x > V_a$. Sai số do ảnh hưởng của ampe-kế không đáng kể.

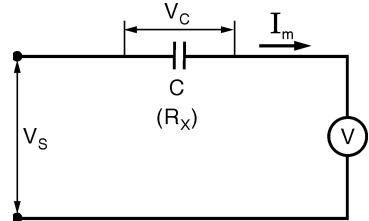
Hình 3.1b: Ampe-kế mắc trước, vôn-kế mắc sau (lối mắc *rẽ ngắn*). Điện trở R_x vẫn được xác định bởi:

$$R_X = \frac{V}{I} \quad (3.3)$$

trong đó: $I = I_X + I_V$ - cho bởi ampe-kế với I_V dòng điện đi qua vôn-kế.

Nếu $I_V \ll I_X$ tổng trở vào của vôn-kế rất lớn so với R_X thì sai số do ảnh hưởng của vôn-kế không đáng kể.

Ví dụ 3.1: Đo điện trở rỉ của tụ điện (R_X) khi hoạt động ở điện áp qui định. Mạch đo được mắc theo hình 3.2. Vôn-kế có tầm đo 50V và độ nhạy $20\text{k}\Omega/\text{V}_{\text{DC}}$ được mắc nối tiếp với tụ điện C cần đo. Kim chỉ thị điện áp 10vôn. Khi đo điện áp rơi trên tụ điện.



Hình 3.2: Nguồn điện áp Vs, tụ điện C (R_X) và vôn-kế V.

$$V_C = V_S - V = 300\text{V} - 10\text{V}$$

$$= 290\text{V}$$

Dòng điện tối đa I_{max} của cơ cấu chỉ thị bằng 50\mu A (kim chỉ 10V)

Vậy điện trở rỉ của tụ điện

$$R_X = \frac{290\text{V}}{10\text{\mu A}} = 29 \text{ Megohm}$$

Ví dụ 3.2: Trong mạch hình 3.1a, vôn-kế có độ nhạy $10\text{k}\Omega/\text{V}$ chỉ 500 vôn và ampe-kế chỉ $0,5\text{A}$ có $R_A = 10\Omega$. Vôn-kế đặt ở tầm đo 1000V. Xác định điện trở R_X .

Giải: Theo vôn-kế và ampe-kế: $R_X = \frac{V}{I} = \frac{500\text{V}}{0,5\text{A}} = 1000\Omega$

Nếu phân tích: $V = V_X + V_a = (R_a + R_X)I$; $R_a + R_X = V/I = 1000\Omega$

Suy ra trị số thực của $R_X = 1000\Omega - 10\Omega = 990\Omega$.

Vậy sai số do ảnh hưởng của ampe-kế và vôn-kế:

$$\frac{10\Omega}{1000\Omega} \cdot 100\% = 1\%$$

Ví dụ 3.3: Nếu vôn-kế và ampe-kế được mắc theo hình 3.1b thì vôn-kế và ampe-kế đọc bao nhiêu? Khi $R = 990\Omega$

Giải: Điện trở tương đương giữa vôn-kế và R_X .

$$R_V // R_X = (10\text{k}\Omega/\text{V} \times 1000\text{V}) // 990\Omega = 989,9\Omega$$

Vôn-kế chỉ thị:

$$V_X = 500\text{V} \cdot \frac{(R_V // R_X)}{R_a + (R_V // R_X)} = 500\text{V} \cdot \frac{989,9}{999,9} = 495\text{V}$$

Ampe-kế chỉ thị trị số:

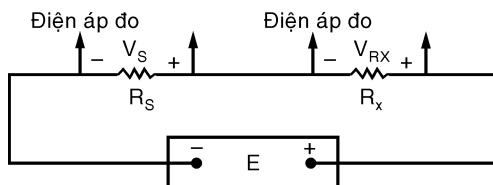
$$I = I_V + I_X = \frac{V_X}{R_V // R_X} = \frac{495V}{989,9\Omega} = 0,5A$$

Do đó ở hai ví dụ 2 và 3 là nếu đo R_X bằng cách lấy trị số đọc của vôn-kế chia cho trị số đọc của ampe-kế thì trị số đọc của ví dụ 3 chính xác hơn vì: $R_X = V/I = 495V/0,5A = 990\Omega$.

Trong khi trị số đo được ở ví dụ 2: $R_X = 500V/0,5A = 1000\Omega$

3.2 ĐO ĐIỆN TRỞ DÙNG PHƯƠNG PHÁP ĐO ĐIỆN ÁP BẰNG BIẾN TRỞ

Mạch đo được mắc theo hình 3.3.



Hình 3.3: Đo điện áp bằng phương pháp biến trở suy ra R_X theo R_S

Nguồn cung cấp E tạo ra dòng điện I qua R_X là V_{RX} điện áp rơi trên điện trở mẫu V_S : $\frac{V_{RX}}{V_S} = \frac{R_X I}{R_S I}$. Suy ra: $R_X = R_S \frac{V_{RX}}{V_S}$.

V_{RX} và V_S được đo bằng phương pháp biến trở.

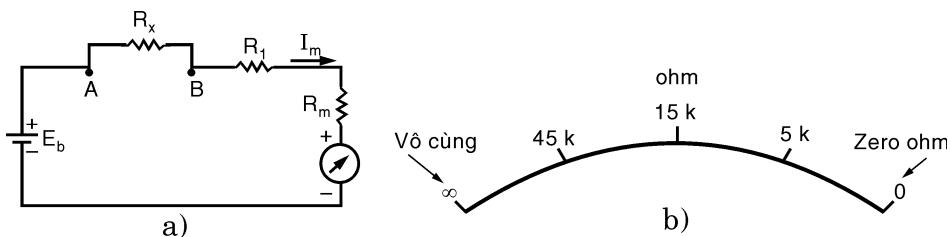
Đo điện trở bằng phương pháp so sánh này không phụ thuộc vào dòng điện I cung cấp cho mạch đo.

3.3 MẠCH ĐO ĐIỆN TRỞ TRONG OHM-KẾ

Trong máy đo vạn năng (multimeter V.O.M) có phần đo điện trở (ohm-kế). Trong trường hợp dùng ohm-kế để đo điện trở thì trạng thái đo là phần tử điện trở đo (R_X) không có năng lượng (đo *nguội*), mạch đo sẽ là nguồn năng lượng riêng (nguồn pin).

3.3.1 Mạch nguyên lý đo điện trở

Mạch đo được mắc theo hình 3.4.



Hình 3.4: a) Mạch ohm-kế; b) Thang đo không tuyến tính của ohm-kế

Đây là mạch ohm-kế kiểu mắc nối tiếp, dòng điện qua cơ cấu chỉ thị R_I :

$$I_m = \frac{E_b}{R_X + R_I + R_m}$$

với: R_I - điện trở chuẩn của tầm đo; R_m - điện trở nội của cơ cấu.

Khi $R_X \rightarrow 0\Omega$; $I_m \rightarrow I_{max}$ (dòng cực đại của cơ cấu điện từ).

Khi $R_X \rightarrow \infty$; $I_m \rightarrow I_{min}$ (không có dòng qua cơ cấu).

Ví dụ 3.4: $E_b = 1,5V$; $I_{max} = 100\mu A$; $R_I + R_m = 15k\Omega$.

Xác định chỉ thị của kim khi $R_X = 0$ và sự chỉ thị trị số điện trở khi $I_m = 1/2$ thang đo; $1/4$ thang đo; $3/4$ thang đo.

Giải: Từ phương trình trên khi $R_X \rightarrow 0$: $I = 1,5V/0 + 15k\Omega = 100\mu A$

Tại trị số $1/2$ thang đo: $I = 100\mu A/2 = 50\mu A$

$$\text{Khi đo điện trở } R_X = \frac{1,5V}{50\mu A} - (R_I + R_m) = 30 - 15 = 15k\Omega$$

Khi dòng $I_m = 1/4$ thang đo: $I_m = 25\mu A$

$$\text{Điện trở } R_X \text{ được xác định: } R_X = 1,5V/25\mu A - 15k\Omega = 45k\Omega$$

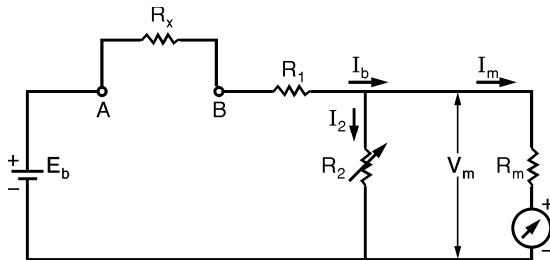
Tại dòng $I_m = 3/4$ thang đo: $I_m = 75\mu A$

$$\text{Điện trở } R_X = 1,5V/75\mu A - 15k\Omega = 5k\Omega$$

Như vậy giá trị thang đo điện trở không tuyến tính theo dòng điện I (H.3.4b).

3.3.2 Mạch đo điện trở thực tế

Trong thực tế nguồn pin E_b có thể thay đổi. Khi $R_X \rightarrow 0\Omega$, I_m qua cơ cấu không bằng I_{max} , do đó mạch đo có thể mắc thêm R_2 (H.3.5) biến trở này dùng để chỉnh điểm “ 0Ω ” cho mạch đo khi E_b thay đổi. Như vậy trước khi đo phải ngắn mạch hai đầu AB, điều chỉnh R_2 để sao cho ohm-kế chỉ “ 0Ω ”.



Hình 3.5: Mạch ohm-kế có chỉnh “ 0Ω ”

Theo mạch trên ta có: $I_b = \frac{E_B}{R_X + R_1 + R_2 // R_m}$

Nếu $R_2 // R_m \ll R_1$, thì: $I_b = \frac{E_b}{R_x + R_1}$

Như vậy điện áp: $V_m = I_b(R_2 // R_m)$

Sẽ có dòng I_m qua cơ cấu chỉ thị: $I_m = \frac{V_m}{R_m} = \frac{I_b(R_2 // R_m)}{R_m}$.

Do đó mỗi lần đo cho $R_X \rightarrow 0$ điều chỉnh R_2 để có:

$$I_m = \frac{E_b}{R_1} \frac{(R_2 // R_m)}{R_m} = I_{\max}$$

Sao cho khi E_b có sự thay đổi thì sự chỉ thị R_X sẽ không thay đổi.

Ví dụ 3.5: $E_b = 1,5V$; $R_1 = 15k\Omega$; $R_m = 1k\Omega$; $R_2 = 1k\Omega$; $I_{\max} = 50\mu A$. Xác định trị số đọc của R_X khi $I_b = I_{\max}$; $I_m = \frac{1}{2} I_{\max}$; $I_m = \frac{3}{4} I_{\max}$

Giải: Tại $I_m = I_{\max} = 50\mu A$; $V_m = I_{\max}R_m = 50\mu A \times 1k\Omega = 50mV$.

Do đó: $I_2 = \frac{V_m}{R_2} = \frac{50mV}{1k\Omega} = 50\mu A$. Như vậy dòng: $I_b = 100\mu A$.

Vậy: $R_X + R_1 \# \frac{E_b}{I_b}$ nếu $R_X + R_1 \ll R_2 // R_m \ll 500\Omega$.

$$\# \frac{1,5V}{100\mu A} = 15k\Omega . R_X + 15k\Omega = 15k\Omega; R_X = 0\Omega$$

Khi $I_m = \frac{1}{2} I_{\max} = 25\mu A$; $V_m = 25mV \Rightarrow I_2 = 25\mu A$.

Suy ra $I_b = 50\mu A$. Vậy $R_X + R_1 \# \frac{1,5V}{50\mu A}$; $R_X \# 15k\Omega$

Tương tự như cách tính trên. $I_m = \frac{3}{4} I_{\max} = 37,5\mu\text{A}$.

$$I_b = I_m + I_2 = 37,5\mu\text{A} + 37,5\mu\text{A} = 75\mu\text{A}.$$

$$R_X + R_1 = \frac{1,5V}{75\mu\text{A}} = 20k\Omega, R_X = 5k\Omega.$$

Ví dụ 3.6: Trưởng hợp $E_b = 1,3\text{V}$, tính các trị R_X như ở ví dụ 1.

Giải: Khi $R_X = 0$ thì $I_m = 50\mu\text{A}$ (điều chỉnh R_2).

$$I_b = \frac{E_b}{R_1 + R_X} = \frac{1,3V}{0 + 15k\Omega} \approx 86,67\mu\text{A}.$$

$$I_2 = I_b - I_m = 86,67\mu\text{A} - 50\mu\text{A} = 36,67\mu\text{A}$$

$$R_2 = \frac{V_m}{I_2} = \frac{50\mu\text{A} \times 1k\Omega}{36,67\mu\text{A}} = 1,36k\Omega$$

Ở trị chỉ thị 1/2 thang đo $I_m = 25\mu\text{A}$.

$$I_2 = \frac{V_m}{R_2} = \frac{25mV}{1,36k\Omega} = 18,38\mu\text{A}; I_b = 25\mu\text{A} + 18,38\mu\text{A} = 43,38\mu\text{A}$$

$$R_X + R_1 = \frac{1,3V}{43,38\mu\text{A}} = 29,96k\Omega.$$

$$R_X = 29,96k\Omega - 15k\Omega = 14,96k\Omega \# 15k\Omega.$$

Giống như trị số của ví dụ 1 khi $E_b = 1,5\text{V}$. Ở trị chỉ thị 3/4 thang đo $I_m = 37,5\mu\text{A}$.

$$I_2 = \frac{37,5mV}{1,36k\Omega} = 27,57\mu\text{A}, I_b = 37,5\mu\text{A} + 27,57\mu\text{A} = 65,07\mu\text{A}.$$

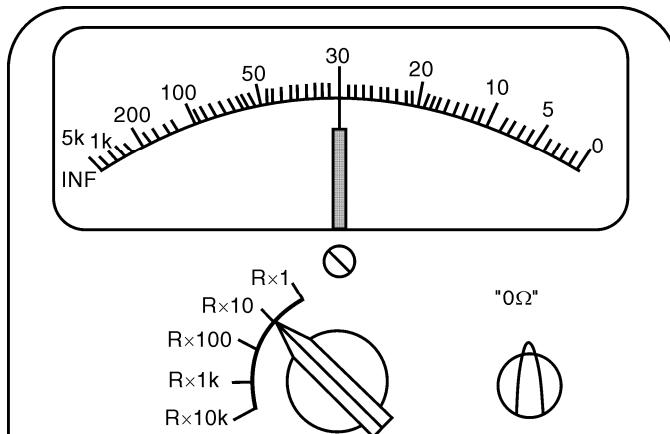
$$R_X + R_1 = \frac{1,3V}{65,07\mu\text{A}} = 19,97k\Omega.$$

$$R_X = 19,97k\Omega - 15k\Omega = 4,97k\Omega \# 5k\Omega.$$

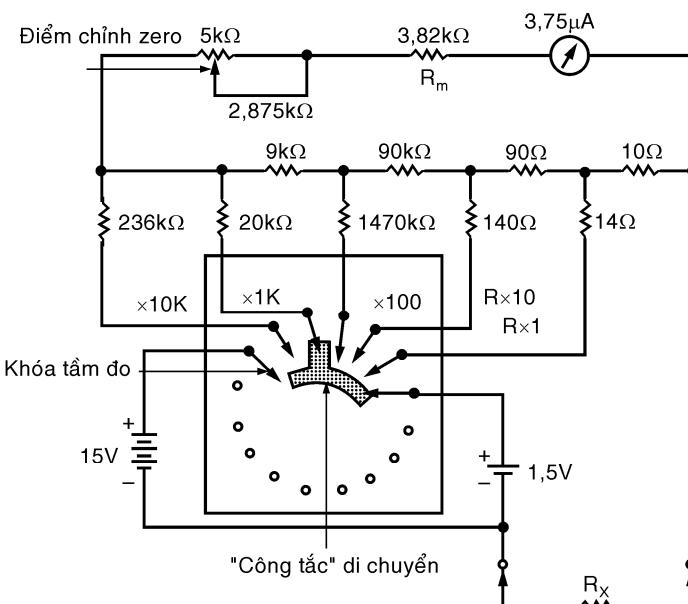
Kết quả đo ở ví dụ 2 và ví dụ 1 gần giống nhau mặc dù E_b giảm. Vì đã điều chỉnh R_2 để cho $I_m = I_{\max}$.

Mạch đo điện trở với nhiều tầm đo trong máy đo vạn năng (H.3.6).

Khi thay đổi tầm đo (X1 hoặc X10 hoặc X100...) dòng điện qua cơ cấu chỉ thị I_m vẫn bằng nhau nhưng trị số đọc được trên thang đo được nhân với giá trị tầm đo (H.3.7).

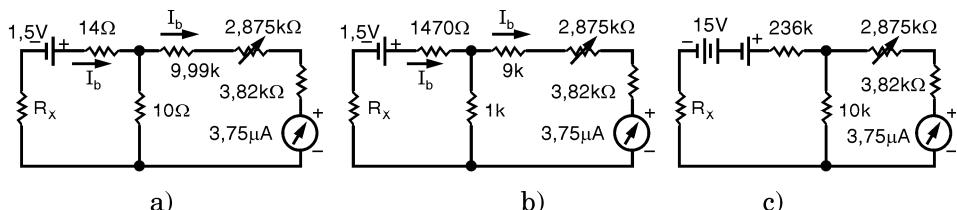


Hình 3.6a: Măt ngoài ohm-kế



Hình 3.6b: Mạch đo điện trở có nhiều tầm đo

Ví dụ 3.7: Khi $R_X = 24\Omega$ (H.3.7a).



Hình 3.7: Mạch đo cho từng tầm đo: a) Mạch cho tầm đo X1

b) Mạch cho tầm đo X100; c) Mạch cho tầm đo X10K

$$I_b = \frac{1,5V}{24\Omega + 14\Omega + [10\Omega // 16.685\Omega]} = 31,254mA.$$

$$I_m = 31,254mA \frac{10\Omega}{10\Omega + 16.685\Omega} = 18,72\mu A \text{ (giữa thang đo)}$$

Khi $R_X = 2400\Omega$ (H.3.7b).

$$I_b = \frac{1,5V}{2400\Omega + 1470\Omega + [1k // 15,695k]} = 0,311mA$$

Dòng I_m qua đồng hồ:

$$I_m = I_b \frac{940\Omega}{15.695\Omega} = 0,311mA \times 0,059 = 18,62\mu A$$

Nếu ở thang đo X_I : $I_m = 18,72\mu A$ tương ứng $R_X = 24\Omega$

$$\begin{aligned} \text{với: } I_m &= I_b \frac{(10\Omega // 16.685\Omega)}{10\Omega + 16.685\Omega} \# I_b \frac{10\Omega}{10\Omega + 16.685\Omega} \\ &= 1,5\Omega / [R_X + 14\Omega + (10\Omega // 16.685\Omega)] \times 5,989 \times 10^{-4} \\ \Rightarrow R_X &= \left(\frac{1,5V \times 5,989 \times 10^{-4}}{33 \times 10^{-6}} \right) - (14\Omega + 10\Omega) = 27,2\Omega - 24\Omega = 3,2\Omega \end{aligned}$$

Như vậy thang đo của ohm-kế không tuyến tính hoàn toàn, ở mỗi tầm đo đều phải chỉnh 0 \square .

3.2.3 Nguyên lý đo của ohm-kế tuyến tính

Thang đo của ohm-kế theo nguyên lý dòng điện như đã đề cập ở trên không tuyến tính theo điện trở đo. Do đó trong các mạch đo ohm-kế tuyến tính trong máy đo điện tử chỉ thị kim hoặc chỉ thị số, chúng ta chuyển trị số đo điện trở R_X sang điện áp đo V_X bằng cách cung cấp nguồn dòng điện I không đổi (bất chấp trị số R_X). $V_X = R_X I$. Sau đó R_X được đo bởi mạch điện áp, V_X tuyến tính theo R_X .

Như vậy: Khi $R_X \rightarrow 0$, $V_X \rightarrow 0$ Vôn.

Khi $R_X \rightarrow \infty$, V_X tiến đến giá trị lớn nhất của mạch đo

Ví dụ: Mạch đo điện áp có điện áp lớn nhất 1,5V thì khi $R_X \rightarrow \infty$ thì $V_X \rightarrow 1,5V$.

Như vậy nếu vôn-kế có điện trở chỉnh máy trước khi đo, thì phải chỉnh $R_X \rightarrow \infty$ cho mạch đo. Không chỉnh $R_X \rightarrow 0\Omega$ như ở mạch đo dùng nguyên lý dòng trong phần trước (chúng ta sẽ đề cập trong phần máy đo điện tử).

3.2.4 Độ chính xác của ohm-kế

Do mạch điện trở không tuyến tính theo thang đo, nên sai số tăng nhiều ở khoảng đo phi tuyến. Vì vậy khoảng thang đo có sai số cho phép trong khoảng từ 10 ÷ 90% khoảng hoạt động với điều kiện chỉnh “**0Ω**” cho mỗi tầm đo.

Như đã nói phần trước khi ohm-kế chỉ thị 1/2 thang đo thì điện trở R_X bằng nội trở của mạch ohm-kế. Nếu ở 1/2 thang đo của sự chỉ thị dòng điện có sai số $\pm 1\%$ của thang đo điện trở dẫn đến sai số là $\pm 2\%$ kết quả đo điện trở.

Khi: $R_X = R_I$ và $I_b = \frac{E_b}{R_1 + R_X}$. Từ sai số $\pm 2\%$ của dòng I_b (ở 1/2 thang

đo) sẽ có sai số cho phần đo điện trở là 2% của $(R_X + R_I)$

Giả sử R_1 có sai số khoảng 1%, khi $R = R_I$ thì sai số tại R_X (tại 1/2 thang đo) sẽ là $2\% \times (2 R_I) = 4\%$.

Ví dụ 3.8: phân tích sai số của ohm-kế khi kim chỉ thị ở 0,8 thang đo và 0,2 thang đo.

Giải: Ở 0,8 thang đo:

$$I_b = 0,8I_{max} = \frac{E_b}{R_X + R_1} \Rightarrow R_X + R_1 = \frac{E_b}{0,8I_{max}} = \frac{E_b}{0,8E_b/R_1} = \frac{R_1}{0,8}$$

$$\text{Vì khi } R_X \rightarrow 0 \text{ (H.3.4): } I_b = \frac{E_b}{R_1 + R_X} \# \frac{E_b}{R_1}.$$

$$\text{Vậy: } R_X = 1,25R_I - R_I = 0,25R_I; R_I = 4R_X.$$

Nếu sai số của thang đo là 1 % cho sự chỉ thị của kim thì tại 0,8 thang đo, sai số của sự chỉ thị dòng điện là 1,25% I_{max} . Như vậy sai số ở phần đo điện trở:

$$\Delta R_X (\%) = 1,25\% (4R_X + R_X) = 6,25\% R_X$$

Ở 0,2 thang đo:

$$R_X + R_I = \frac{E_b}{0,2I_{max}} = \frac{R_1}{0,2} = 5R_1; R_X = 4R_I$$

Sai số cho toàn khung thang đo 1%, ở 0,2 thang đo, sai số cho chỉ thị là 5%. Sai số cho R_X : $\Delta R_X = 5\%(\frac{R_X}{4} + R_X) = 6,25\%$

Theo sự phân tích sai số của thang đo điện trở trên, để độ chính xác hơn nên chọn tầm đo cho điện trở ở khoảng 1/2 thang đo, vì tại đó sai số được chứng minh ở ví dụ trên là 4%, trong khi đó ở 0,2 thang đo và 0,8 thang đo sai số đều lớn bằng nhau và bằng 6,25%.

3.4 CẦU WHEATSTONE ĐO ĐIỆN TRỞ

Để cho điện trở được chính xác hơn, chúng ta dùng cầu Wheatstone để đo điện trở bằng hai phương pháp

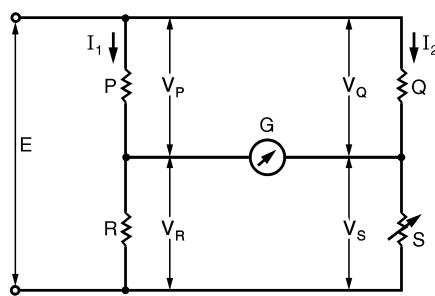
- Phương pháp cân bằng
- Phương pháp không cân bằng

3.4.1 Đo điện trở dùng cầu Wheatstone cân bằng

Đây là phương pháp thường dùng trong phòng thí nghiệm vì những ưu điểm của nó.

Nguyên lý cầu Wheatstone

Cầu Wheatstone được mắc như hình 3.8.



Hình 3.8: Cầu Wheatstone đo điện trở

Hình 3.9: Điện kế G

Khi cầu Wheatstone cân bằng là dòng điện qua điện kế $G = 0$:

$$V_P = V_Q \text{ và } V_R = V_S$$

Nếu dòng I_1 qua P và R , dòng I_2 qua Q và S .

Khi đó $I_1P = I_2 > Q$ và $I_1R = I_2S$.

$$\text{Suy ra: } \frac{R}{P} = \frac{S}{Q} \text{ hoặc } R = \frac{P}{Q}S.$$

Với trị số P, Q, S biết chính xác, điện trở R được xác định. Kết quả đo R không phụ thuộc vào nguồn cung cấp E . Đây cũng là ưu điểm của phép đo. Độ chính xác của R phụ thuộc vào độ nhạy của điện kế G . Độ nhạy của điện kế lớn dẫn đến sự cân bằng tốt hơn.

Ngoài ra sai số của điện trở P, Q, S cũng ảnh hưởng của sai số R .

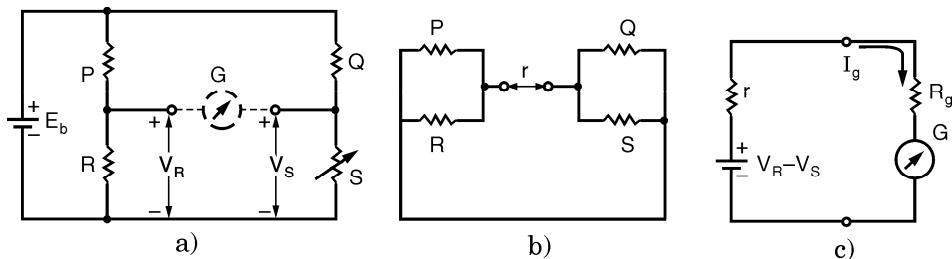
Ví dụ: Sai số của S là $\pm 0,5\%$; P, Q là 1% . Thì sai số của R :

$$\Delta R = \Delta S + \Delta P + \Delta Q = \pm 2,5\%.$$

Với bất kỳ R để điều chỉnh cầu Wheatstone cân bằng chúng ta thường thay đổi tỉ số P/Q (tầm đo) và S là biến trở (hộp điện trở) có giá trị thay đổi từng $0,1\Omega$ (hoặc từng $1,0\Omega$) như các cầu đo Wheatstone trong các phòng thí nghiệm.

Ví dụ: $P/Q = 1/10$; $S = 237,5\Omega$. Khi cầu cân bằng, do đó R được xác định: $R = 23,75\Omega$.

3.4.2 Đo điện trở dùng cầu Wheatstone không cân bằng



Hình 3.9: Mạch tương đương Thevenin của cầu Wheatstone

- a) Điện áp ngõ ra để hở của cầu;
- b) Điện trở r ở ngõ ra
- c) Mạch Thevenin khi tải là r_g của điện kế

Trong công nghiệp, người ta thường dùng nguyên lý *cầu Wheatstone không cân bằng* nghĩa là nhờ điện áp ra (hoặc dòng điện ra) ở ngõ ra của cầu để đo điện trở R hoặc sự thay đổi ΔR của phần tử đo. Phương pháp này cần nguồn E cung cấp cho cầu đo được ổn định, vì điện áp ra có phụ thuộc vào nguồn E . Ngoài ra còn phụ thuộc vào độ chính xác của các phần tử cầu Wheatstone. Độ nhạy của cầu phụ thuộc vào nguồn cung cấp E và nội trở của bộ chỉ thị (hoặc tổng trở vào của mạch khuếch đại nếu điện áp ở ngõ ra của cầu được đưa vào mạch khuếch đại).

Từ mạch cầu đo hình 3.9, điện kế G được tháo ra khỏi cầu đo. Điện áp ở ngõ ra của cầu:

$$V_R - V_S = E_b \left[\frac{R}{R+P} - \frac{S}{Q+S} \right]$$

Tổng trở ngõ ra của cầu được xác định:

$$r = [P // R] + [Q // S]$$

Như vậy mạch tương đương Thevenin của cầu được xác định (H.3.9c). Do

đó dòng điện I_g qua điện kế khi cầu không cân bằng:

$$I_g = \frac{V_R - V_S}{r + r_g}, \quad r_g - \text{nội trở của điện kế } G$$

Ví dụ 3.9: Xác định sự thay đổi điện trở R nhỏ nhất mà điện kế G phát hiện được khi độ nhạy của điện kế $G = 1\mu\text{A}/\text{dIV}$ (dIV: một vạch chia của thang đo). $P = 3,5k\Omega$; $Q = 7k\Omega$ và $S = 4k\Omega$ khi $R = 2k\Omega$ và nội trở của điện kế G : $r_g = 2,5k\Omega$; $E_b = 10\text{V}$.

Giải: Theo biểu thức mạch tương đương Thevenin:

$$V_R - V_S = I_g(r + r_g)$$

$$\text{với: } r = (P // R) + (Q // S) = \frac{3,5k\Omega \times 2k\Omega}{5,5k\Omega} + \frac{7k\Omega \times 4k\Omega}{11k\Omega} = 3,82k\Omega$$

Khi I_g thay đổi $1\mu\text{A}$ thì có sự thay đổi: $V_R - V_S$.

$$\Delta(V_R - V_S) = \Delta I_g(r + r_g) = 1\mu\text{A}(3,82 + 2,5)\text{k}\Omega = 6,32mV$$

$$\text{mà: } \Delta(V_R - V_S) = E_b \left[\frac{\Delta R + R}{R + \Delta R + P} - \frac{S}{S + Q} \right]$$

Như vậy ΔR_{min} có được khi: $\Delta(V_R - V_S) = 6,32mV$; $\Delta R_{min} \square (2+3,5)\text{k}\Omega$

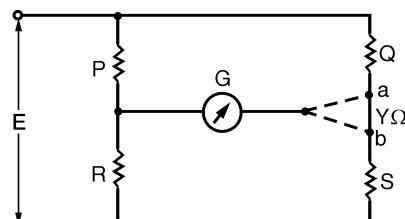
$$6,32mV = 10\text{V} \left(\frac{\Delta R_{min} + 2k\Omega}{2k\Omega + \Delta R_{min} + 3,5k\Omega} - \frac{4k\Omega}{7k\Omega + 4k\Omega} \right)$$

$$\frac{\Delta R_{min} + 2k\Omega}{5,5k\Omega} - \frac{4k\Omega}{11k\Omega} = \frac{6,32mV}{10V} = 6,32 \times 10^{-6} = 362 \times 5,5 \times 10^{-3}\Omega = 3,476\Omega$$

Như vậy để cho ΔR_{min} càng nhỏ thì $\Delta(V_R - V_S)$ càng lớn, độ nhạy càng tăng thì E_b càng lớn, nhưng sự tăng E_b có hạn chế. Do đó, cần phải khuếch đại $\Delta(V_R - V_S)$ và tổng trở Z_i của mạch khuếch đại phải lớn (r_g được thay bởi Z_i của mạch khuếch đại).

3.4.3 Tầm đo điện trở của cầu Wheatstone

Để cho điện trở đo bởi cầu Wheatstone được chính xác thì giá trị đo của nó phải lớn hơn giá trị điện trở tiếp xúc và điện trở dây nối. Như mạch hình 3.10 do ảnh hưởng của dây nối có điện trở nối giữa R và S khi đó điện kế G được xem như nối ở a hoặc b đưa đến kết quả đo:



Hình 3.10: Nghiên cứu dây nối
ga dây ra sai số ô cao
Wheatstone

$$R = \frac{(S+Y)P}{Q} \quad \text{hoặc} \quad R = \frac{SP}{Q+Y}$$

Trong thực tế điện trở R đo được chính xác có giá trị nhỏ nhất vào khoảng 5Ω . Như vậy để đo những điện trở nhỏ hơn 1Ω ($1/10\Omega$; $1/100\Omega$; $1/1000\Omega$) chúng ta phải dùng kỹ thuật đo đặc biệt.

Ngoài ra, cầu Wheatstone cũng được dùng để đo các điện trở lớn vài $M\Omega$ (*megohm*) hoặc vài trăm $M\Omega$, phải dùng cách thức đo đặc biệt (sẽ nói ở phần sau). Nhưng cũng giới hạn ở tri 10^{12} ohm .

3.5 CẦU ĐÔI KELVIN

Đây là cầu đo đặc biệt được dùng để đo điện trở giá trị nhỏ.

3.5.1 Điện trở bốn đầu

Những điện trở có giá trị nhỏ như điện trở shunt cần phải có đầu điện trở được xác định chính xác, để tránh sai số do sự tiếp xúc của đầu điện trở với dây dẫn điện có dòng điện lớn đi qua. Do sự xuất hiện hiệu ứng nhiệt điện có thể có, cho nên điện trở được chế tạo bốn đầu (H.3.11), hai đầu dòng điện thường có bề mặt tiếp xúc với dây dẫn có diện tích lớn; còn hai đầu nhỏ gọi là *đầu thế* (*potential terminal*) được nối vào ampe-kế (miliampé-kế), giá trị điện trở được tính ở trên *đầu thế* này do hiệu ứng nhiệt điện.

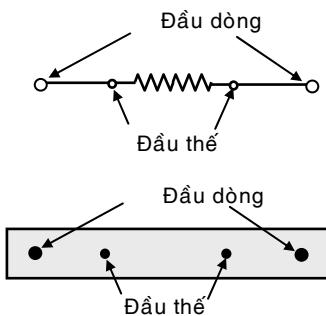
3.5.2 Câu đố Kevin

Câu đố Kelvin được mắc hình 3.12. Trong câu đo này có điện áp đáng kể rơi trên điện trở Y của đoạn dây nối a, b. Nếu tỉ số của phần tử $P/r = p/R$ ($P=p$ và $R=r$) thì khi đó sai số do điện áp rơi trên dây dẫn Y sẽ bị loại bỏ.

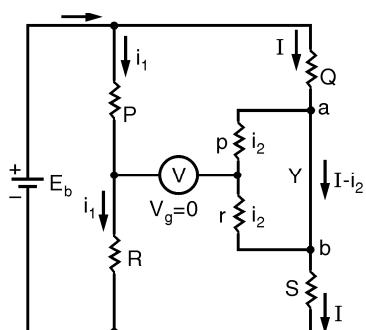
Phương trình cầu cân bằng này phức tạp hơn cầu Wheatstone. Khi cầu cân bằng thì $V_g = 0$:

dòng i_1 qua điện trở P và R ;
qua điện trở Q và S

dòng i₂ qua P và r ; dòng $I - i_2$



Hình 3.11: Nieän trôû boán
ñaàu



Hình 3.12: Caùu ñoâi Kelvin ño ñieän trôû nhoû

qua điện trở Y .

Bởi vì không có điện áp rơi trên điện kế G cho nên:

$$i_1 R = i_2 r + IS$$

Suy ra: $IS = i_1 R - i_2 r = R(i_1 - i_2 r/R)$

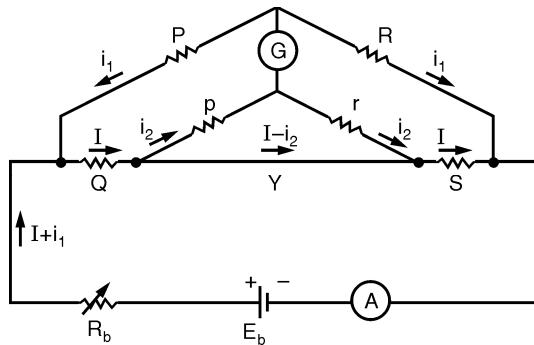
Còn có: $i_1 P = IQ + Pi_2, IQ = P(i_1 - pi_2/P)$

Chia: $\frac{IQ}{IS} = \frac{P(i_1 - i_2 p/P)}{R(i_1 - i_2 r/R)}, \frac{Q}{S} = \frac{P}{R}$. Nếu $p = P$ và $r = R$

Vậy, với điều kiện cân bằng của cầu và luôn luôn có $p = P$ và $r = R$ thì phần tử đo Q được xác định:

$$Q = S \frac{P}{R} = S \frac{p}{r}$$

Q không phụ thuộc vào điện trở dây dẫn, Y, S là điện trở mẫu có sai số nhỏ, P là hộp điện trở thay đổi có độ chính xác cao và độ phân giải nhỏ (có thể từng bước thay đổi là $0,1\Omega$ (hoặc 1Ω)), R là điện trở thay đổi tầm đo cho cầu.



Hình 3.13: Cầu Kelvin với điện trở Q, S có bốn đầu

Cầu đo Kelvin thực tế dùng điện mẫu S có bốn đầu như hình 3.13. Vì Q và S thường có điện trở nhỏ từ vài microohm ($\mu\Omega$), vài m Ω (miliohm) đến 1Ω cho nên dòng $I+i_1$ thường có trị số hạn chế (vài ampe). Vì vậy phải có biến trở R_b và ampe-kế theo dõi. Độ chính xác của cầu đo Kelvin cũng giống như cầu Wheatstone (đã được phân tích). Đối với những điện trở đo Q có giá trị nhỏ hơn $0,1\mu\Omega$ (microohm) độ chính xác sẽ kém đi nhiều.

Ví dụ 3.10: Dùng $S = 1\text{m}\Omega$; $Q = 23,5\Omega$; $R = 1000\Omega$ dòng qua ampe-kế 5 ampe, nguồn $E_b = 6\text{V}$ thì điện kế G chỉ “0”. Như vậy:

$$Q = \frac{23,5}{1000} \times 1m\Omega = 23,5 \times 10^{-6}\Omega$$

Ví dụ 3.11: Một điện trở (bốn đầu) có trị số khoảng $0,15\Omega$ được đo bởi cầu Kelvin. Điện trở mẫu $0,1\Omega$. Xác định tỉ số cho cầu đo R/P hoặc r/p .

Giải: Theo công thức khi cầu cân bằng.

$$Q = S \frac{P}{r} = S \frac{p}{r} = 0,1\Omega \frac{P}{R} = 0,15\Omega . \text{ Suy ra } \frac{R}{P} = \frac{r}{p} = \frac{0,1}{0,15} = \frac{10}{15}$$

Như vậy trên cầu đo Kelvin chỉnh $P = p = 15\Omega$.

$$R = r = 10\Omega \text{ hoặc } P = p = 150\Omega \text{ và } R = r = 100\Omega.$$

3.6 ĐO ĐIỆN TRỞ CÓ TRỊ SỐ LỚN

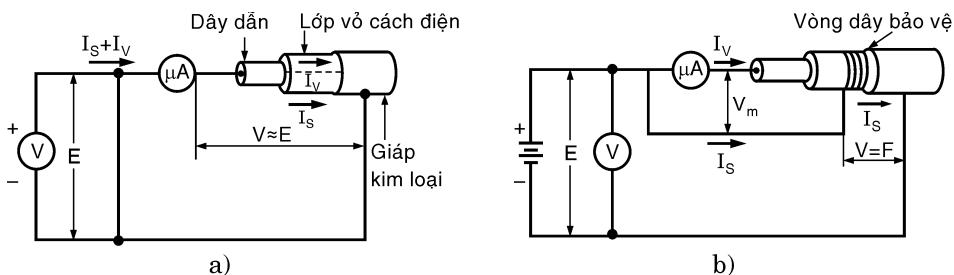
Trong phần này chúng ta đề cập đến phương pháp đo điện trở có giá trị lớn (vào khoảng vài megohm trở lên) dùng vôn-kế, microampe-kế, cầu Wheatstone và megohm-kế chuyên dụng. Khi đo điện trở có trị số rất lớn như đo điện trở cách điện của vật liệu thông thường sẽ có hai phân tử điện trở.

- Điện trở khối (*volume resistance*).
- Điện trở rỉ bê mặt (*surface leakage resistance*).

Hai phân tử điện trở này xem như song song với nhau, như vậy hai điện trở có trị số có thể so sánh được sẽ ảnh hưởng đáng kể đến điện trở khối cần đo của vật liệu cách điện.

3.6.1 Phương pháp đo điện trở lớn dùng vôn-kế và microampe-kế

Cầu đo điện trở cách điện của vỏ bọc giữa dây dẫn trong và dây dẫn bên ngoài (vỏ giáp bằng kim loại) của dây dẫn điện đồng trực có vỏ bọc giáp (H.3.14). Khi dòng điện đi vào dây dẫn thì sẽ có hai dòng điện đi qua micro ampe-kế, đó là dòng I_V đi qua lớp cách điện của vỏ bọc, dòng I_S đi qua bê mặt của dây dẫn và lớp cách điện. Cho nên điện trở song song giữa lớp cách điện và bê mặt $[R_V//R_S]$ được xác định bởi vôn-kế và micro ampe-kế. Nếu R_S so sánh được với R_V thì R_S sẽ ảnh hưởng rất lớn đến R_V cần đo. Để tránh ảnh hưởng của R_S bằng cách loại bỏ dòng I_S qua microampe-kế, người ta thường dùng dây dẫn điện (không có vỏ bọc hoặc vé cni) quấn quanh lớp vỏ cách điện và nối trước microampe-kế. Như vậy dòng điện I_S đi qua R_S lúc trước sẽ đi qua dây dẫn này (H.3.14b) do đó ảnh hưởng của R_S vào R_V bị loại bỏ. Vòng dây dẫn này được gọi là vòng *dây bảo vệ* tránh điện trở rỉ bê mặt R_S .

**Hình 3.14:** Đo điện cách điện lớp vỏ bọca) Dòng rỉ bề mặt I_s ; b) Có vòng dây bảo vệ

Ví dụ 3.12: Một cáp dây dẫn điện loại đồng trục lớp giáp bằng kim loại bên ngoài cùng, ngăn cách dây dẫn điện bên trong bằng lớp cách điện. Nếu mạch được mắc nối như hình 3.14a thì dòng điện qua microampere-kế là $5\mu A$ khi điện áp thử nghiệm là $10.000V$. Nếu mạch được mắc như hình 3.14b thì dòng điện đo được là $1,5\mu A$. Xác định *điện trở khối* cách điện của lớp cách điện. Sau đó xác định *điện trở rỉ bề mặt* ở hình 3.14a.

Giải: *Điện trở khối* cách điện:

$$R_V = \frac{E}{I_V} = \frac{10 \times 10^3}{1,5 \times 10^{-6}} = 6,7 \times 10^9 \Omega (\text{ohm})$$

Dòng điện qua *điện trở rỉ bề mặt*:

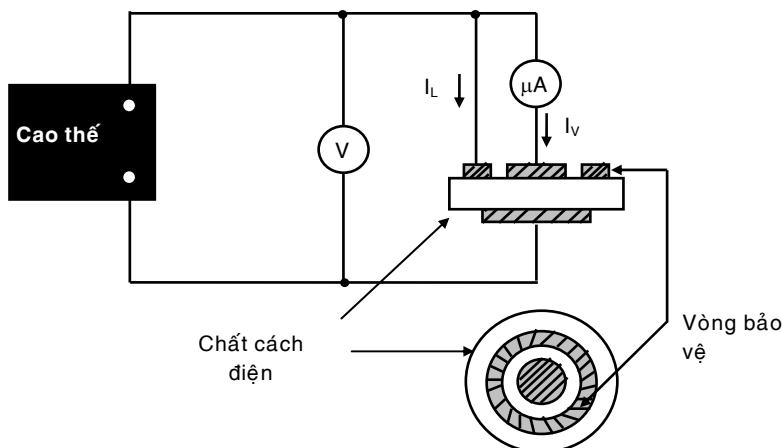
$$I_s = 5\mu A - I_V = 5\mu A - 1,5\mu A = 3,5\mu A \text{ vì } I_V + I_s = 5\mu A$$

$$R_S = \frac{E}{I_s} = \frac{10 \times 10^3}{3,5 \times 10^{-6}} = 2,9 \times 10^9 \Omega (\text{ohm})$$

Như vậy nếu chúng ta không loại bỏ dòng I_s bằng vòng *dây dẫn* bảo vệ thì sẽ đo được *điện trở*: $R_S // R_V = (2,9 // 6,7) \times 10^9 \Omega = 2,02 \times 10^9 \text{ ohm}$

Nhỏ hơn ba lần *điện trở khối* cách điện thật.

Trong trường hợp đo điện trở cách điện của một mẫu cách điện bề mặt (H.3.15) khi đó để loại bỏ dòng điện rỉ bề mặt người ta dùng *vòng bảo vệ* bằng kim loại hình vành khăn bên ngoài bẩn cực mặt trên để đo điện trở cách điện.

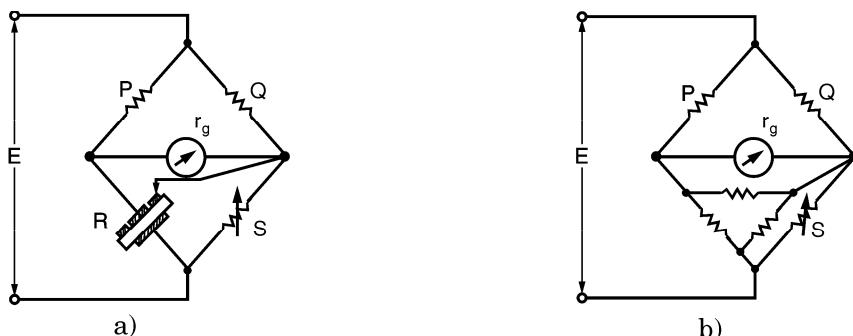


Hình 3.15: Đo điện trở cách điện loại bỏ điện trở rỉ bề mặt

Trong trường hợp dùng cầu Wheatstone để đo điện trở cách điện để loại bỏ điện trở rỉ bề mặt, chúng ta cũng dùng *vòng bảo vệ* như hình 3.16a và được phân tích thành mạch tương đương (H.3.16b), điện trở b và c là hai điện trở rỉ bề mặt và bề mặt dưới của vật liệu cần đo điện trở cách điện. Vì $b \ll r_g$ (điện trở của điện kế).

$$\Rightarrow b // r_g \approx r_g \text{ và } c \ll S \Rightarrow c // S \approx S$$

Như vậy b và c không ảnh hưởng đến điện trở R là phần tử đo của cầu.

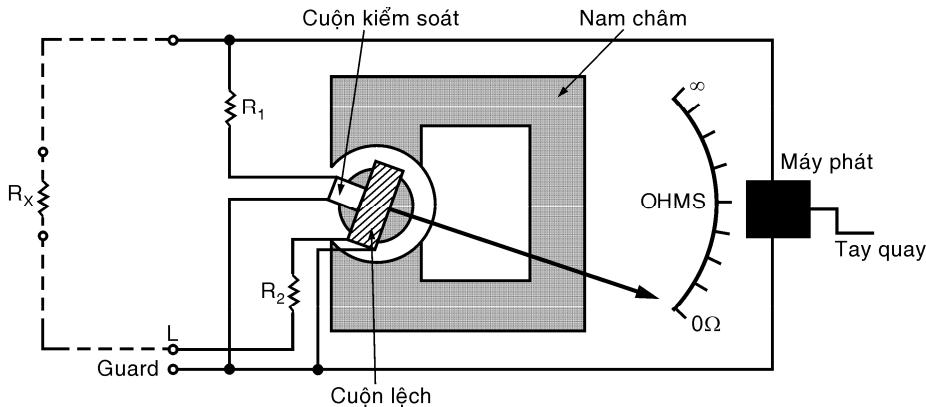


Hình 3.16: a) Cầu Wheatstone đo điện trở cách điện bề mặt
b) Mạch tương đương

3.6.2 Megohm-kế chuyên dùng

Bộ chỉ thị thường dùng cho megohm-kế (loại cổ điển) là tì số kế từ điện (H.3.17). Cơ cấu chỉ thị này gồm có hai cuộn dây.

- Cuộn dây lệch (*deflecting coil*).
- Cuộn dây kiểm soát (*control coil*).



Hình 3.17: Megohm-kế chuyên dùng

Hai cuộn dây này quấn trên trực quay mang kim chỉ thị. Mômen quay $T_2 = K_{q2}(\theta)I_2$ và $T_1 = K_{q1}(\theta)I_1$.

Hai mômen này luôn luôn đối kháng nhau và K_{q1}, K_{q2} là hàm số theo góc quay θ của kim chỉ thị để sao cho tại góc θ_i của kim chỉ thị ta có:

$$T_{q1} = K_{q1}(\theta_i)I_1 = T_{q2} = K_{q2}(\theta_i)I_2. \text{ Suy ra } \frac{I_1}{I_2} = \frac{K_{q2}(\theta_i)}{K_{q1}(\theta_i)} = K(\theta_i)$$

Vậy góc quay θ_i của kim chỉ thị phụ thuộc vào trị số dòng điện I_1 và I_2 (cơ cấu chỉ thị này không có trị ban đầu vì không có lò xo kiểm soát hoặc dây treo như cơ cấu điện từ mà chỉ có trực quay do đó khi không có dòng I_1, I_2 kim chỉ thị ở vị trí bất kỳ).

Theo mạch cụ thể của megohm-kế: Nguồn E được cung cấp bởi máy phát điện quay tay (hoặc nguồn phát bằng mạch điện tử dùng pin như các máy mới sau này). Dòng I_1 qua cuộn dây kiểm soát:

$$I_1 = \frac{E}{R_1 + r_1}, \quad R_1 \text{ - điện trở chuẩn, } r_1 \text{ - điện trở nội của khung quay kiểm}$$

soát dòng I_2 qua cuộn dây lệch.

$$I_2 = \frac{E}{R_X + R_2 + r_2}$$

R_X - điện trở đo; R_2 - điện trở chuẩn; r_2 - điện trở nội của khung quay lệch.

□ Khi $R_X \rightarrow \infty$; $I_2 \rightarrow 0$: Dòng điện I_1 kéo kim chỉ thị lệch tối đa về phía trái thang đo có trị số ∞ .

□ Khi $R_X \rightarrow 0$; $I_2 \rightarrow I_{2\max}$ (cực đại)

Tỉ số I_2/I_1 → trị số cực đại kim chỉ thị lệch về phía phải (trị số 0Ω)

□ Khi $R_X \rightarrow$ trị số bất kỳ khi đó góc quay θ_i .

$$I_1 = \frac{E}{R_1 + r_1} \quad \text{và} \quad I_2 = \frac{E}{R_X + R_2 + r_2}$$

$$\frac{I_1}{I_2} = \frac{E/(R_1 + r_1)}{E/(R_X + R_2 + r_2)} = K(\theta_2); \quad \frac{R_X + R_2 + r_2}{R_1 + r_1} = K(\theta_i)$$

Như vậy góc quay θ_i phụ thuộc vào trị số đo R_X .

□ Đặc biệt khi kim chỉ thị giữa thang đo:

$$\frac{I_1}{I_2} = 1 \Rightarrow R_X = R_1 + r_1 - R_2 - r_2$$

Nếu: $r_2 = r_1 \Rightarrow R_X = R_1 - R_2$.

Như vậy thay đổi tầm đo cho thang đo bằng cách thay đổi trị số R_2 .

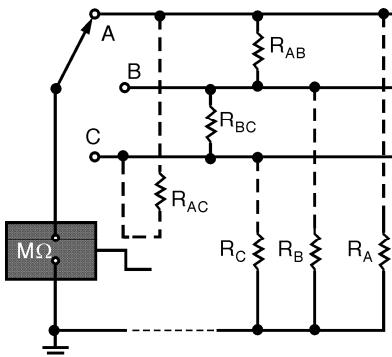
Trong mạch này có đầu *Guard* để gắn vào vòng bảo vệ (*guard ring*) hoặc dây bảo vệ (*guard wire*) để loại bỏ điện trở rỉ bề mặt (R_S) khi đo điện trở cách điện

3.6.3 Ứng dụng đo điện trở cách điện và chố dây bị chạm đất của dây điện lưới

Tổng quát: Người ta thường đo điện trở cách điện của các đường dây tải điện hoặc phân phối điện trong công nghiệp. Ví dụ theo tiêu chuẩn thiết kế mạng điện, điện trở cách điện được thử nghiệm với megohm-kế 1000V (hoặc 2000V), nguồn điện áp cấp cho megohm-kế. Điện trở cách điện được đo giữa hai đầu dây dẫn điện với nhau hoặc từng dây dẫn điện với dây trung tính với điều kiện dây dẫn được tháo ra khỏi nguồn điện lưới và tải (ví dụ điện trở cách điện qui định tối thiểu $1M\Omega$).

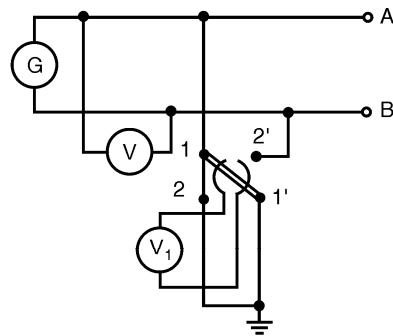
Đo điện trở cách điện khi tắt nguồn điện

Trước khi đo, mạch được ngắt ra khỏi nguồn. Điện trở cách điện của dây dẫn A so với *mass*. Một đầu của dây A được nối vào đầu L của megohm-kế còn đầu E của megohm-kế được nối đầu *mass* của dây dẫn (dây trung tính của hệ thống điện) (H.3.18). Như vậy điện trở được đo là $R_A/(R_{AB} + R_b)$. Nếu $R_{AB} + R_b$ rất lớn so với R_A thì R_A ít sai số. Sau đó lầu R_b , R_c của ba dây dẫn được xác định điện trở cách điện với dây trung tính. Còn điện trở cách điện giữa hai dây A B được đo $R_{AB}/(R_A + R_B)$. Tương tự như vậy điện trở cách điện của dây BC $R_{BC}/(R_B + R_C)$.



Hình 3.18

Đo điện trở cách điện dùng $M\Omega$ kế



Hình 3.19

Vôn kế V, VI đo điện trở cách điện

Đo điện trở cách điện trong trường hợp có nguồn

Trong trường hợp dây dẫn có nguồn cung cấp. Khi đó chúng ta dùng vôn-kế V đo điện áp nguồn cung cấp, vôn-kế V_1 lần lượt đo điện áp V_A , V_B của dây A, dây B so với dây trung tính (H.3.19). Dòng điện I_1 qua R_B .

$$I_1 = \frac{V - V_A}{R_B} = \frac{V}{R_B + [R_A // R_V]}$$

với: R_A , R_B - điện trở cách điện dây dẫn A, B đối với “*mass*”

R_V - tổng trở vào của vôn-kế

Tương tự khi vôn-kế được mắc giữa dây B là có dòng I_2 qua R_A .

$$I_2 = \frac{V - V_B}{R_A} = \frac{V}{R_A + (R_B // R_V)}$$

Từ hai phương trình trên suy ra:

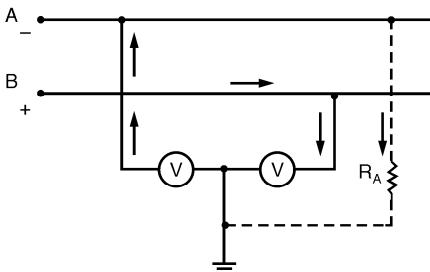
$$R_A = R_V \frac{V - V_A - V_B}{V_B}; \quad R_B = R_V \frac{V - V_A - V_B}{V_A}$$

Nếu như $R_A \ll R_B$ khi vôn-kế V_1 được mắc giữa dây A với trung tính, được xem như vôn-kế V_1 mắc nối tiếp với R_B ở hai đầu vôn-kế V.

$$\text{Do đó: } R_B = R_V \left(\frac{V}{V_A} - 1 \right)$$

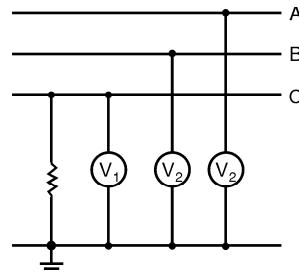
$$\text{Tương tự như vậy nếu } R_B \ll R_V, \text{ thì: } R_A = R_V \left(\frac{V}{V_B} - 1 \right)$$

Như vậy nếu điện áp V của lõi điện không đổi thì điện áp đo giữa một cuộn dây dẫn điện với trung tính phụ thuộc vào điện trở cách điện của dây dẫn điện thứ 2. Cho nên vôn-kế có thể khắc độ theo điện trở cách điện.



Hình 3.20

Hai vôn-kế đo điện trở cách điện



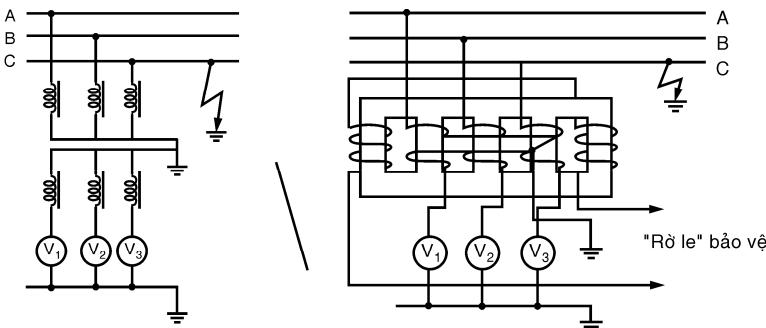
Hình 3.21

Ba vôn-kế đo điện trở cách điện

Từ trên ta suy ra trị cách điện giữa hai dây dẫn điện có thể đo được bằng cách mắc như hình 3.20. Trong điều kiện bình thường của sự cách điện, mỗi vôn-kế sẽ cho kết quả điện áp nguồn cung cấp dây dẫn.

Bất kỳ sự giảm điện trở cách điện nào của một trong hai dây dẫn, cũng sẽ làm giảm cách đo của vôn-kế này, trong khi vôn-kế còn lại sẽ tăng trị số lên.

Trường hợp ba dây dẫn của nguồn điện ba pha, điện trở cách điện của ba dây dẫn được chỉ thị bởi ba vôn-kế (H.3.21). Nếu như điện trở cách điện của dây dẫn A giảm xuống thì vôn-kế V_A giảm, còn V_B , V_C sẽ có sự gia tăng trị số.



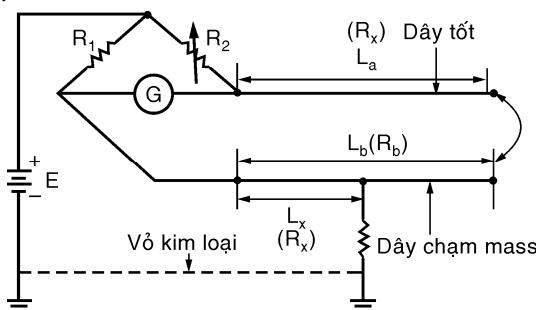
Hình 3.22: Vôn-kế được mắc với biến áp đo

Đối với nguồn điện cung cấp trên 1kV thì các vôn-kế được mắc qua biến áp ba pha đo lường như hình 3.22. Biến áp ba pha dạng này không thuận lợi khi hoạt động trong trình trạng xấu xảy ra là một trong ba pha bị chạm đất. Như vậy cuộn sơ cấp của pha bị chạm đất ngắn mạch, điện áp các pha còn lại tăng lên làm cháy cuộn sơ cấp của biến áp cho nên phải có sự bảo vệ cho phần sơ cấp của biến áp.

Do điện trở đoạn dây điện bị chạm mass

Vấn đề quan trọng là xác định được vị trí của cáp dẫn điện bị chạm mass để đỡ mất thời gian và chi phí cho việc bóc dỡ cả đoạn dây (nếu loại cáp ngầm chôn dưới đất). Những hư hỏng thường xảy ra như sau:

- Lớp cách điện của cáp bị bể
- Lớp cách điện bị giảm độ cách điện, có sự phóng điện làm hỏng lớp cách điện.



Hình 3.23: Vòng Murray đo điện trở chạm mass

Phương pháp thường dùng để xác định vị trí chạm mass là *vòng thử nghiệm (test loop)*. Những phương pháp này đủ xác định chỗ hỏng. Mạch thường dùng là vòng Murray và vòng Varley. Đây cũng là một ứng dụng của cầu Wheatstone (H.3.23). Khi cầu Wheatstone cân bằng (điều chỉnh R₂ và thay

đổi R_1).

$$\frac{R_2}{R_1} = \frac{R_a + R_b - R_X}{R_X}. \text{ Suy ra: } R_X (R_1 + R_2) = R_1 (R_a + R_b)$$

$$\text{Vậy } R_X = \frac{R_1 (R_a + R_b)}{R_1 + R_2}$$

Nếu đoạn dây R_X có chiều dài L_X ; R_a có chiều dài L_a ; R_b có chiều dài L_b . Các dây có cùng điện trở suất, $L_a = L_b = L$ và cùng thiết diện A:

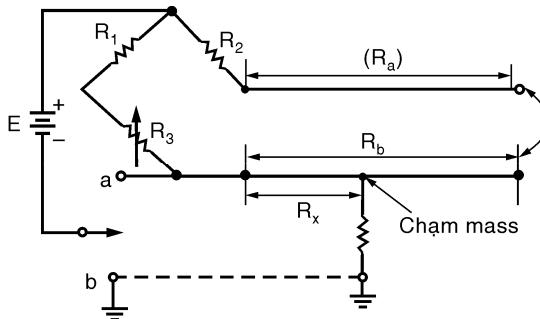
$$\rho \frac{L_X}{A} = \frac{R_1}{R_1 + R_2} \left[\frac{L_a}{A} \rho + \frac{L_b}{A} \rho \right]; \quad L_X = \frac{R_1}{R_1 + R_2} 2L'$$

Ví dụ 3.13: Đoạn dây cáp có chạm mass được xác định bằng vòng Murray cân bằng khi $R_1 = 100\Omega$ và $R_2 = 300\Omega$. Đoạn dây A, B có chiều dài $L_a = L_b = 5000m$. Dây cáp dẫn điện đồng chất và đồng nhất.

Giải: Chiều dài chỗ cáp bị chạm mass

$$L_X = [R_1/(R_1 + R_2)]2L_a = (100/400) \times 2 \times 5000m = 2500m$$

hoặc dùng vòng Varley.



Hình 3.24: Vòng Varley

Mạch điện mắc theo hình 3.24, cầu Wheatstone có thêm điện trở R_3 . Đây là phương pháp xác định thêm điện trở dây *chạm đất* chính xác nhất và sự ngắn mạch trong một dây cáp có nhiều dây dẫn điện. Nó được cải tiến thích hợp nhất từ vòng Murray. Giả sử chỗ bị chạm mass trên dây dẫn điện có điện trở R_a . Nối hai đầu dây dẫn. Sau đó khóa S ở vị trí a điều chỉnh R_3 để sao cho cầu cân bằng.

$$\frac{R_2}{R_1} = \frac{R_a + R_b}{R_X}. \text{ Suy ra: } R_a + R_b = \frac{R_3 R_2}{R_1}$$

Như vậy điện trở dây dẫn được xác định. Sau đó chuyển khóa S sang vị

trí b, điều chỉnh đến trị R'_3 sao cho cầu (vòng VARLEY) cân bằng. Chúng ta có:

$$\frac{R_2}{R_1} = \frac{R_a + (R_b - R_X)}{R_X + R'_3}; \quad R_2 R_X + R_2 R'_3 = R_1 R_a + R_1 R_b - R_1 R_X$$

$$R_X(R_1 + R_2) = R_1(R_a + R_b) - R_2 R'_3$$

Vậy: $R_X = \frac{R_1(R_a + R_b) - R_2 R'_3}{R_1 + R_2}$

Ví dụ 3.14: Trong mạch hình 3.24 $R_1 = 1k\Omega$, $R_2 = 2k\Omega$, chiều dài của đoạn dây cáp $L_a = L_b = 10\text{Km}$, điện trở của dây cáp $0,02\Omega/\text{m}$. Khi khóa S ở a điều chỉnh $R_3 = 100\Omega$ thì cầu cân bằng, còn khi S ở b, $R_3 = 99\Omega$ thì cầu cân bằng. Xác định L_X chỗ dây chạm *mass*.

Giải: Khi khóa S ở a:

$$R_a + R_b = \frac{R_2 R_3}{R_1} = \frac{2000 \times 100}{1000} = 200\Omega$$

Khi khóa S ở b:

$$R_X = \frac{R_1(R_a + R_b) - R_2 R'_3}{R_1 + R_2} = \frac{(1000 \times 200) - (2000 \times 99)}{3000} = 0,67\Omega$$

Vậy chiều dài: $L_X = \frac{0,67\Omega}{0,02\Omega/\text{m}} = 335\text{m}$

3.7 DO ĐIỆN TRỞ ĐẤT

Cọc đo điện trở đất

Thanh dẫn điện bằng kim loại (thường bằng đồng) hoặc nhiều thanh dẫn điện được đóng xuống đất, vùng đất cần đo điện trở, khi đó chúng ta có *cọc đất*. Sau đó các *cọc đất* này được nối vào mạch đo bằng những dây dẫn điện.

Điện trở đất

Điện trở của vùng đất cần đo tiếp xúc với cọc đất sẽ được xác định bởi điện áp rơi trên điện trở đất khi có dòng điện đi qua nó. Trong thực tế điện trở đất phụ thuộc vào điều kiện môi trường xung quanh (nhiệt độ, độ ẩm), thành phần của đất.

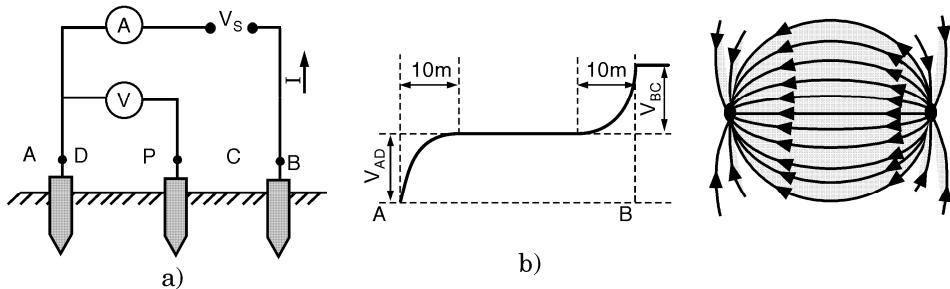
Khoảng cách giữa các cọc đất

Để cho điện trở đất của các cọc không ảnh hưởng với nhau (nghĩa là các điện trở cọc A là R_A không bị ảnh hưởng bởi vùng đất của cọc B có điện trở đất là R_B). Người ta khảo sát thực tế như hình 3.25. Dòng điện I đi qua vùng đất giữa hai cọc đất sẽ tạo ra điện áp:

$$V_{AC} = R_A I \text{ với: } R_A - \text{điện trở đất của cọc A}$$

$$V_{BC} = R_B I \quad R_B - \text{điện trở đất của cọc B}$$

Khi cọc P được đóng giữa cọc A và B ở bất kỳ vị trí nào, thì vôn kẽ giữa cọc AC có trị số thay đổi theo đường biểu diễn (H.3.25b). Như vậy ngoài phạm vi 10m thì điện áp V_{AC} không thay đổi (các điểm ngoài 10m đẳng thế). Như vậy hai cọc đất cách nhau 20m sẽ có điện trở đất không ảnh hưởng lên nhau. (Trong thực tế hai cọc cách nhau 10m đến 20m có thể xem như hai cọc đất riêng biệt).



Hình 3.25: Khảo sát điện trở đất, và điện áp rơi trên điện trở đất cùng dòng I đi qua

Nguồn điện áp cung cấp cho mạch đo

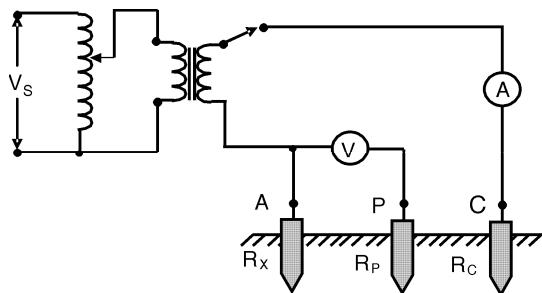
Nguồn tín hiệu cung cấp cho mạch đo là nguồn tín hiệu xoay chiều dạng sin hoặc xung vuông. Chúng ta tránh dùng nguồn DC do ảnh hưởng của điện giải sẽ làm tăng sai số đo điện thế điện cực. Nếu dùng điện lưới của điện lực thì phải dùng biến áp cách ly tránh ảnh hưởng dòng trung tính (nếu có do điện thế lưới mất đối xứng) và cọc đất của dây trung tính.

3.7.2 Mạch đo điện trở đất

Dùng vôn-kẽ và ampe-kẽ

Phương pháp trực tiếp

Mạch đo được mắc như hình 3.26.



Cọc A: cọc đo điện trở đất R_X ; Cọc P: cọc phụ đo điện áp; Cọc C: cọc phụ đo dòng điện

Hình 3.26: Mạch đo điện trở đất bằng vôn-kế và ampe-kế

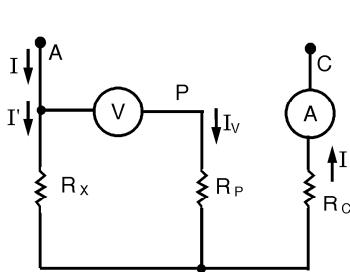
Theo mạch tương đương của điện trở đất của cọc A, P, C (H.3.27)

Điện trở cho bởi vôn-kế V:

$$V_{AP} = R_X I' + R_P I_V$$

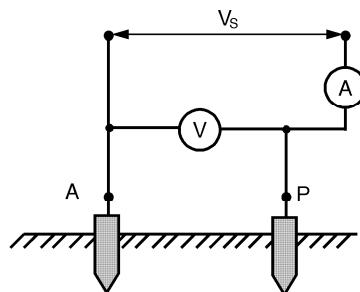
với $I = I' + I_V$ cho bởi ampe-kế.

Nếu: $I_V \ll I'$ thì $I' \approx I$. Do đó: $R_X \approx \frac{V_A}{I}$



Hình 3.27

Mạch tương đương của ba cọc
A, P, C



Hình 3.28

Mạch đo điện trở đất bằng phương
pháp gián tiếp

Vậy điện trở được xác định bởi trị số đọc của vôn-kế và ampe-kế. Do đó nếu chúng ta quan tâm đến sai số do vôn-kế và điện trở cọc phụ thuộc điện áp thì R_X có sai số tương đối:

$$\varepsilon_R = [R_B / (R_B + R_V)] 100\%$$

trong đó: R_B - điện trở đất của cọc phụ điện áp B

R_V - tổng trổ vào của của vôn-kế

Như vậy để sai số càng nhỏ thì $R_B \ll R_V$.

Phương pháp gián tiếp: Trong trường hợp này đo điện trở đất từng cọc như hình 3.28. Vôn-kế và ampe-kế có giá trị điện trở từng cọc:

$$R_A + R_P = \frac{V_1}{I_1}$$

Sau đó lần lượt đo điện áp của hai cọc BC và CA:

$$R_P + R_C = \frac{V_2}{I_2}$$

Tương tự như vậy: $R_C + R_A = \frac{V_3}{I_3}$

Sau đó từ ba phương trình này chúng ta xác định R_A, R_B, R_C

Trong phương pháp này cả ba cọc đất (gồm cọc đo và hai cọc phụ) đều được xác định, loại trừ được ảnh hưởng sai số do điện trở cọc phụ gây ra như đã đề cập trong phương pháp trực tiếp.

Dùng cầu Kohlrausch đo điện trở đất

Đây là dạng cầu Wheatstone để đo điện trở của dung dịch có tính chất điện giải bằng hai điện cực, nó cũng được ứng dụng để đo điện trở đất (H.3.29) điện trở $R_A + R_B$ được xác định khi cầu cân bằng (giống như phương pháp gián tiếp dùng vôn-kế và ampe-kế).

$$R_A + R_B = \frac{R_1}{R_2} R_3$$

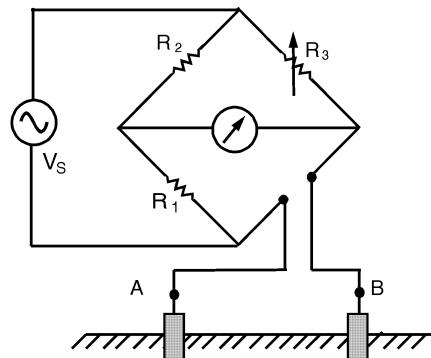
Phương pháp đo điện trở đất dùng cầu cân bằng có ưu điểm là loại bỏ được dòng điện tản chạy qua vùng đất cần đo điện trở.

Máy đo “chuyên dùng” để đo điện trở đất

Máy đo dùng tỉ số kế từ điện: mạch đo nguyên lý hình 3.30.

Dòng điện I_1 đi qua cuộn dây 1 của tỉ số kế đi qua vùng đất cần đo điện trở. Dòng điện I_2 đi qua cuộn dây 2 có tỉ số phụ thuộc vào điện áp rơi trên cọc đo và cọc phụ điện áp. Điều chỉnh biến trở R_S, I_2 thay đổi. Vì $V_{AP} = (R_S + r_2) = R_X I_1$. Suy ra $I_2/I_1 = R_X/(R_S + r_2)$

Điều chỉnh R_S cho đến khi: $I_1 = I_2 \Rightarrow R_X = R_S + r_2$

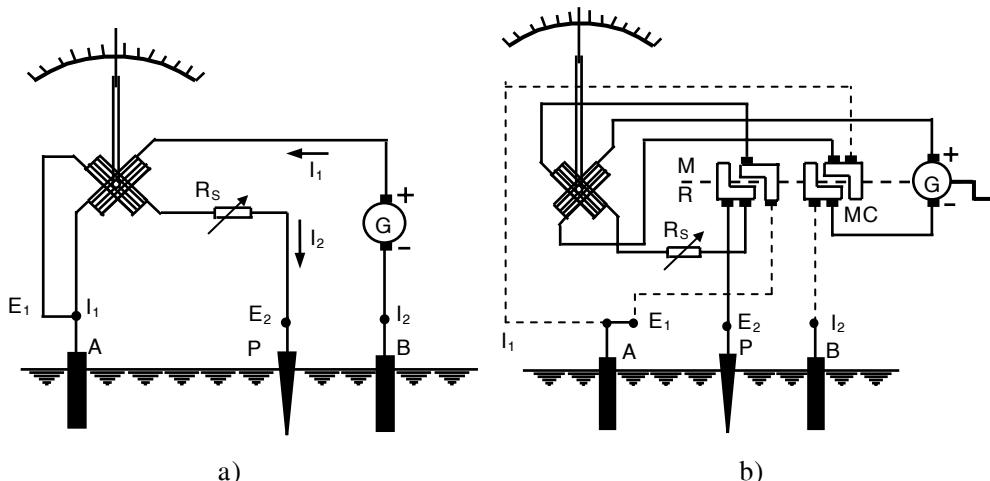


Hình 3.29: No ñieän trôû
baèng caàu ño

Như vậy với R_S tại trị số $I_2/I_1 = 1$, sẽ xác định được R_X khi r_2 đã biết trước.

Trong thực tế dòng I_1 qua tỉ số kế là DC, còn dòng i_1 chạy qua vùng đất đo là AC, do đó có bộ biến đổi I_1 (DC) sang i_1 (AC) đưa vào cọc đo. Sau đó dòng i_1 (AC) chuyển sang I_1 (DC) trở về máy phát G một chiều bằng bộ chỉnh lưu, còn điện áp V_{AP} (AC) được chỉnh lưu sang điện áp V_{AP} (DC) tạo ra dòng điện I_2 (DC).

Như vậy trong các máy đo cổ điển, dùng máy phát (quay tay) thường có trực quay gắn liền với bộ biến đổi DC sang AC, hoặc chỉnh lưu từ AC về DC dùng hiện tượng cơ điện.



Hình 3.30: Máy đo dùng tỉ số kế

a) Mạch đo nguyên lý; b) Mạch đo thực tế

Máy đo dùng cơ cấu chỉ thị từ điện (H.3.31): Mạch đo có hai vị trí của SW_1 (công tắc chuyển mạch) là ở vị trí “C” dùng để chỉnh máy, điện trở chuẩn R_C thay thế điện trở đất cần đo.

Ở vị trí M : Mạch đo hoạt động với điện trở đất cần đo. Từ nguồn phát xoay chiều G tạo ra dòng điện I đi qua điện trở R_C (khi chỉnh máy) hay qua R_X khi đo điện trở đất sẽ tạo ra điện áp: R_CI_I hoặc R_XI_I .

Điện áp này được so sánh với điện áp I_2R_{as} với I_2 phụ thuộc vào $K_I I_I$, trong đó K_I là tỉ số biến dòng CT và R_{as} phụ thuộc vào vị trí S của biến trở R_V . Nếu I_2R_{as} khác R_XI_I thì $V_I = I_2R_{as} - I_I R_X \neq 0$.

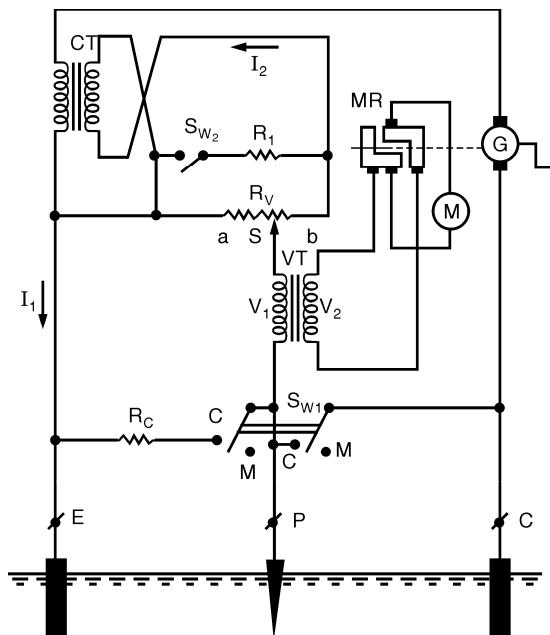
Khi đó $V_2 = K_V V_I$ được chỉnh lưu qua cơ cấu điện từ, kim chỉ thị khác

không.

Con chạy S của R_s được điều chỉnh cho đến khi $V_I = 0$, khi đó kim chỉ thị của cơ cấu điện từ chỉ *không*: $I_I R_X = K_I I_I R_{as}$

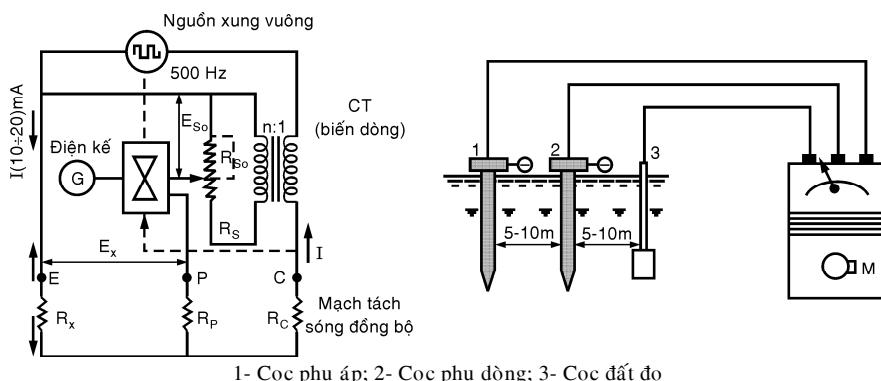
Do đó: $R_X = K_I R_{as}$

Như vậy điện trở R_{as} xác định điện trở đất R_X .



Hình 3.31: Mạch đo của máy đo điện trở đất

CT: Biến dòng, VT: Biến áp



1- Cọc phụ áp; 2- Cọc phụ dòng; 3- Cọc đất đo

Hình 3.32: Sơ đồ khối máy đo

Hình 3.33: Cách đóng cọc

Mạch đo điện trở đất có sự kết hợp với mạch điện tử dùng cơ cấu từ điện:

Sơ đồ khối của máy đo (H.3.32). Nguồn tín hiệu xung vuông tần số 500 Hz được tạo ra nhờ mạch dao động dùng transistor, có dòng cung cấp cho điện trở đất cần đo vào khoảng từ $10\div20mA$. Mạch so sánh tách sóng đồng bộ (dùng phương pháp tách sóng đồng bộ), có nhiệm vụ vừa chỉnh lưu vừa so sánh hai điện áp xoay chiều.

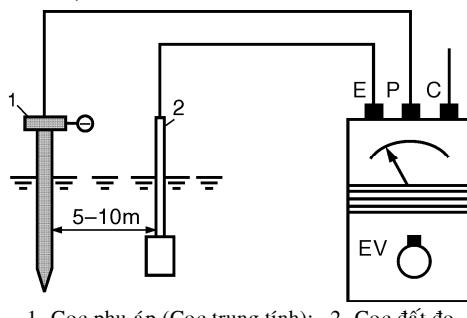
$$E_X = R_X I \text{ và } E_{S0} = R_{S0} \times K_I I$$

Điều chỉnh con chay để cho “G” chỉ “0” $\Rightarrow R_X = \frac{1}{n} R_{S0}$. Với ($K_I = \frac{1}{n}$).

Cách đóng cọc đất để đo cho những máy đo điện trở đất sau này (loại điện tử): Ba cọc đất E (cọc đo); P (cọc điện áp); C (cọc dòng điện) được nối vào máy đo theo hình 3.33. Khoảng cách giữa các cọc là từ 5 đến 10m. Vị trí các cọc tạo ra một góc lớn hơn 100° . Khoảng cách EC, EP cần phải lớn hơn các cọc trong trường hợp đóng thẳng hàng.

Cách đo ba điện áp rơi trên cọc đất (H.3.34)

Có những máy đo điện trở đất có phần đo điện thế rơi trên cọc đất 1 với cọc đất 2, khi đó bộ chỉ thị trên máy đo cho biết điện áp rơi trên hai cọc. Ví dụ, đo điện áp rơi trên cọc đất được xem là cọc an toàn của tải với cọc trung tính của lưới điện (H.3.34).



1- Cọc phụ áp (Cọc trung tính); 2- Cọc đất đo

Hình 3.34: Đo điện áp rơi trên cọc đất

Nếu kết quả đo được điện áp dưới 10V thì khả năng an toàn chấp nhận được và khi đó chúng ta có thể đo điện trở đất của cọc đất an toàn cho tải. Trong trường hợp điện áp trên lớn hơn 10V thì việc đo điện trở đất của cọc đất bị ảnh hưởng và khả năng an toàn phải lưu ý do có sự hiện diện của dòng rỉ và sự hiện hữu của dòng trung tính do sự mất cân bằng của lưới điện.

3.8 ĐO ĐIỆN TRỞ TRONG V.O.M. ĐIỆN TỬ

3.8.1 Nguyên lý

Để đo được điện trở trong máy đo điện tử, người ta cũng chuyển đổi lượng điện trở sang đại lượng điện áp, sau đó đưa vào mạch đo điện áp của vôn-kế điện tử. Mạch đo điện trở có hai dạng:

- Nối tiếp

- Mắc rẽ.

3.8.2 Mạch đo điện trở dạng nối tiếp

Mạch đo được mắc như hình 3.35

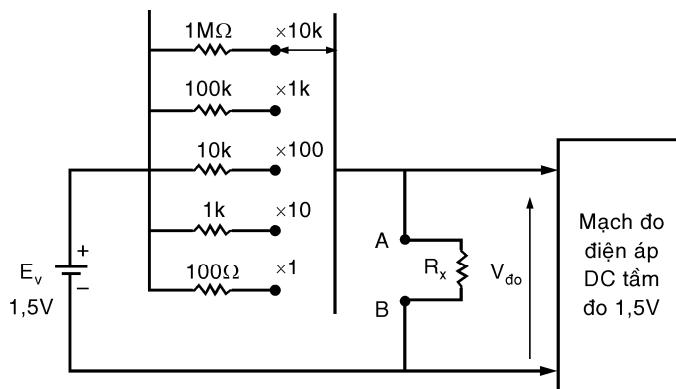
□ Mạch đo trên có năm tầm đo $\times 1 - \times 10 - \times 100 - \times 1k - \times 10k$. Nghĩa là trị số đọc được nhân với hệ số nhân của tầm đo. Ví dụ: Ở tầm $\times 100$ trị số đọc trên mặt chỉ thị là 36Ω thì kết quả đo của $R_X = 3600\Omega$.

□ Mạch thay đổi tầm đo gồm các điện trở chuẩn nối tiếp với R_X , các điện trở chuẩn này là loại điện trở chính xác, sai số nhỏ hơn 1%. Tầm đo điện trở càng lớn thì điện trở chuẩn mỗi tầm đo càng tăng. Dòng điện của mỗi tầm đo giảm tương ứng (tầm đo tăng 10 thì dòng điện giảm 10).

- Khi $R_X = 0\Omega$ (nối tắt hai đầu AB), $V_{do} = 0V$

- Khi $R_X \rightarrow \infty\Omega$ (hai đầu AB để hở), $V_{do} \approx 1,5V$

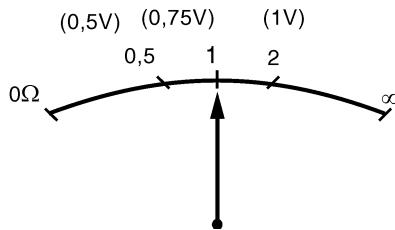
Vì tổng trở vào của mạch đo điện áp DC rất lớn so với điện trở chuẩn của tầm đo, cho nên điện áp rơi trên điện trở chuẩn không đáng kể trong trường hợp AB để hở.



Hình 3.35: Mạch đo điện trở dạng nối tiếp

□ Trường hợp R_X bất kỳ với tầm đo tương ứng có điện trở chuẩn R_I .
Chúng ta có:

$$V_{do} = E \frac{R_X}{R_X + R_I}$$

**Hình 3.36:** Thang đo điện trở

Ví dụ 3.15: Ở “tầm đo $1 \times k\Omega$ ” điện trở đo có trị số $R_X = 1k\Omega$. Khi đó V_{do} có trị số như nhau.

$$V_{\tilde{R}o} = 1,5V \frac{1k\Omega}{1k\Omega + 1k\Omega} = 0,75V$$

Như vậy kim chỉ thị sẽ chỉ số 1 ở giữa thang đo.

Nếu $R_X = 0,5k\Omega$ thì:

$$V_{\tilde{R}o} = 1,5V \frac{0,5k\Omega}{1k\Omega + 0,5k\Omega} = 0,5V$$

Như vậy kim chỉ thị chỉ số 0,5 ở 1/3 thang đo. Nếu $R_X = 2k\Omega$ thì:

$$V_{\tilde{R}o} = 1,5V \frac{2k\Omega}{1k\Omega + 2k\Omega} = 1V$$

Như vậy kim chỉ thị số 2 ở 2/3 thang đo. Vậy thang đo điện trở trong trường hợp này không tuyến tính.

3.8.3 Mạch đo điện trở dạng mắc rẽ

Mạch đo được mắc theo hình 3.37. Trong mạch đo này:

Khi $R_X = 0\Omega$, khi đó $V_{do} = 0V$

Khi $R_X \rightarrow \infty$ thì $V_{\tilde{R}o} = E \frac{R_2}{R_1 + R_2}$

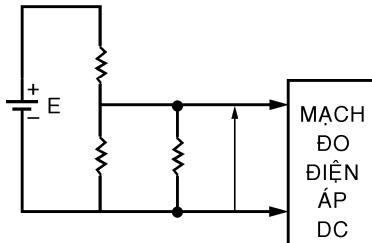
Khi R_X có trị số bất kỳ.

$$V_{\tilde{R}o} = E \frac{[R_2 // R_X]}{R_1 + [R_2 // R_X]} = E \frac{R_X R_2}{R_X R_2 + R_1 (R_2 + R_X)}$$

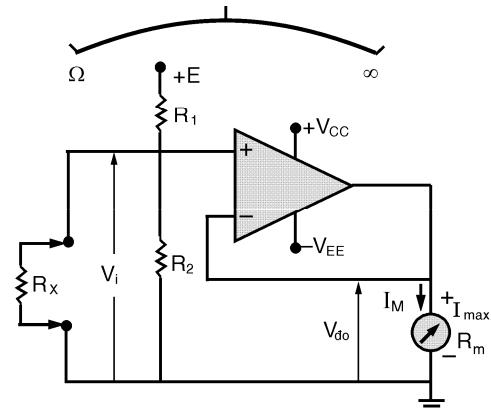
Theo biểu thức này khi:

$$R_X = (R_1 // R_2) = \frac{R_1 R_2}{R_1 + R_2} \text{ thì } V_{\tilde{R}o} = \frac{1}{2} E \frac{R_2}{R_1 + R_2}$$

Khi đó kim chỉ thị 1/2 thang đo

**Hình 3.37**

Mạch đo điện trở dạng măc rẽ

**Hình 3.38**

Mạch đo điện trở loại măc rẽ

Ví dụ 3.16: Có mạch đo điện trở sau đây:

Cơ cấu chỉ thị có: $I_{max} = 50\mu A$, $R_m = 2k\Omega$, $E = 1,5V$

Khi $R_X = 10\Omega$ ở tầm $\times 1$.. $R_X = 100\Omega$ ở tầm $\times 10$

Thì $I_M = (1/2) I_{max}$ xác định R_1, R_2 .

Giải: Mạch tương đương Thevénin cho mạch đo (H.3.39).

$$E_{td} = E \frac{R_2}{R_1 + R_2}$$

$$R_{td} = [R_1 // R_2]$$

Vì mạch đo có mạch khuếch đại hệ số khuếch đại bằng 1 cho nên:

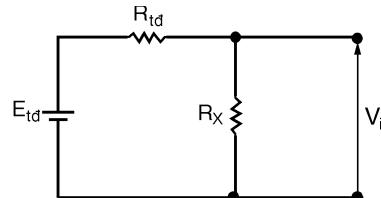
$V_i = V_{do}$, khi $R_X \rightarrow \infty$ thì:

$$V_i \rightarrow (V_{do})_{max} = R_m I_{max}.$$

$$(V_i)_{max} = (V_{do})_{max} = 100mV$$

$$\text{Do đó khi: } R_X = 10\Omega = \frac{R_1 R_2}{R_1 + R_2} \quad (1)$$

$$\text{Thì: } V_{do} = V_i = 50mV = \frac{1}{2} E_{td} = \frac{1}{2} E \frac{R_2}{R_1 + R_2} \quad (2)$$

**Hình 3.39**

Mạch tống nồng Thevenin

Từ phương trình (1) và (2) ta có:

$$R_2 = \frac{100mV}{E} (R_1 + R_2) = \frac{1}{15} (R_1 + R_2)$$

$$R_1 R_2 = 10(R_1 + R_2) = 10 \times 15 R_2$$

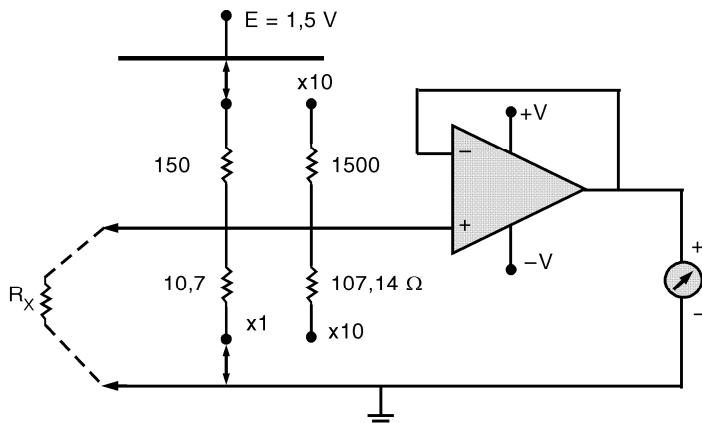
Suy ra: $R_1 = 150\Omega$ và $R_2 = 150/14\Omega = 10,7\Omega$.

Trong trường hợp $R_X = 100\Omega$ (ở tầm $\times 10$). Thì $R_1 R_2 / (R_1 + R_2) = 100\Omega$

Suy ra $R_1 R_2 = 100(R_1 + R_2) = 100 \times 15 R_2$

$$R_1 = 1500\Omega \text{ và } R_2 = 107,14\Omega$$

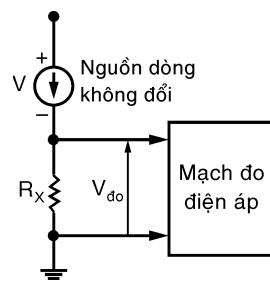
Vậy mạch đo có thể vẽ lại như trên có hai tầm đo (H.3.40).



Hình 3.40: Mạch đo điện trở có hai tầm đo

3.8.4 Mạch đo dòng điện dùng nguồn dòng không đổi

Trong các mạch đo điện trở trên ta dùng nguồn áp không đổi, nhưng điện áp đo được chuyển từ đại lượng điện trở có dòng điện đi qua thay đổi theo điện trở đo, cho nên điện áp đo này đưa vào mạch đo *không tuyến tính* theo điện trở R_X , dẫn đến thang đo không đều. Để cho điện áp đo *tuyến tính* theo điện trở R_X , người ta sử dụng *nguồn dòng điện không đổi* khi R_X thay đổi: $V_{do} = IR_X$



Hình 3.41: Maich nō nguyeân lyù nguoàn doøng khoâng

Trong trường hợp này $R_X \rightarrow \infty$, $V_{do} \rightarrow 0$; và $R_X \rightarrow 0$, $V_{do} \rightarrow V$

Mạch đo điện trở tuyến tính (*linear ohmmeter*) thường được dùng trong máy đo đa dụng điện tử chỉ thị số (*digital multimeter*).

Mạch có nguồn dòng không đổi dùng transistor (BJT)

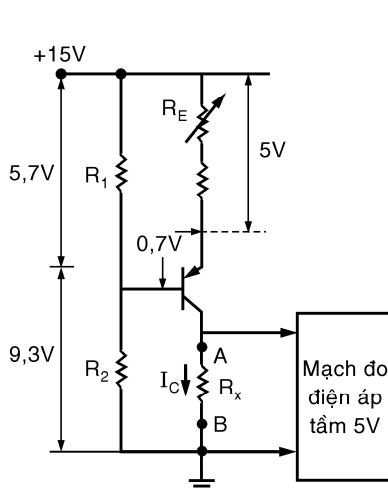
Nguồn dòng điện không đổi cung cấp cho điện trở R_X là dòng I_C của Q_1, R_I, R_2 điện trở phân cực cho cực nền Q_1 theo điện áp của mạch đã cho.

Như vậy điện trở R_E có điện áp 5V không đổi. Giả sử, điều chỉnh R_E để cho $I_C = 1mA$. Khi đó điện trở $R_X = 5k\Omega$ thì $V_{do} = 5k\Omega \times 1mA = 5V$ (trị số lớn nhất của tầm đo).

Khi đo điện trở lớn hơn $5k\Omega$ thì phải chuyển tầm đo bằng cách thay đổi nguồn dòng I_C .

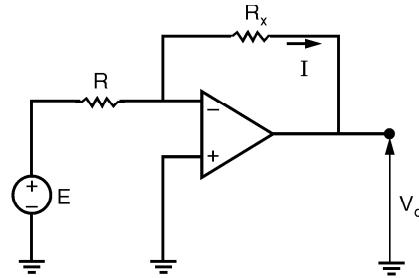
Ví dụ: thay đổi R_E để cho dòng $I_C = 0,1mA$, khi đó điện trở đo được đến $50k\Omega$.

Nếu không muốn thay đổi dòng I (hoặc không thể cho I_C quá nhỏ khi R_X tăng lên lớn) thì thay đổi tầm đo điện áp tương ứng với điện trở R_X .



Hình 3.42

Mạch đo điện trở tuyến tính



Hình 3.43

Mạch đo dùng nguồn dòng không đổi

Dùng nguồn dòng không đổi bằng Op-Amp

Theo đặc tính mạch khuếch đại dùng Op-Amp: $V_o = -(R_X/R)E$. Chúng ta xem như dòng I không đổi: $I = E/R$; $V_o = -IR_X$. Khi R_X thay đổi thì V_o thay đổi tuyến tính theo R_X .

Ví dụ: $E = +3V$; $R = 3k\Omega$. Xác định V_o theo R_X .

Ta có: $V_o = -IR_X$, với: $I = E/R = 3/3k\Omega = 1mA$

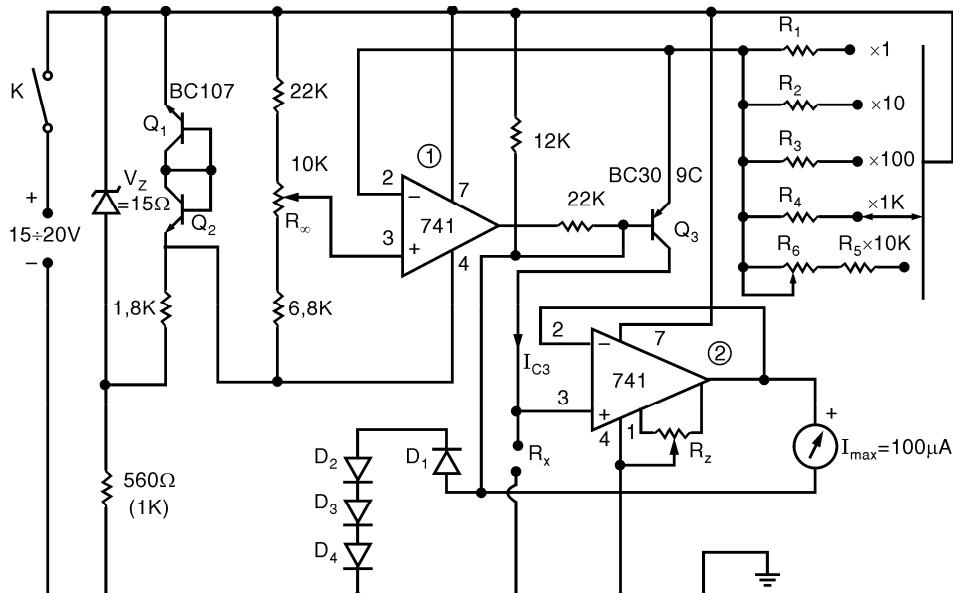
Vậy $V_o = -R_X (1mA)$

Ví dụ: $R_X = 100\Omega \rightarrow V_o = 100mV$. Nếu V_o có trị số bão hòa ở 5V (đặc tính Op-Amp) thì khi đó $R_X = 5k\Omega$ là lớn nhất. Vậy muốn thay đổi tầm đo thì thay đổi R để có sự thay đổi I (nguồn dòng) tương ứng với mỗi tầm đo.

Mạch đo cụ thể dùng nguồn dòng ổn định nhờ sự điều khiển của mạch khuếch đại Op-Amp. D_1, D_2, D_3, D_4 là loại 1N4154.

$$R_1 = 330\Omega; \quad R_2 = 3,3 k\Omega; \quad R_3 = 33 k\Omega; \quad R_4 = 330 k\Omega$$

$$R_S = 2,2M\Omega; \quad R_6 = 1M\Omega \text{ (điện trở tầm đo).}$$



Hình 3.44: Mạch đo điện trở “tuyến tính” dùng Op-Amp

$R_\infty = 10k\Omega$: điện trở chỉnh trị số lớn nhất cho mạch đo điện trở

$R_Z = 10k\Omega$: điện trở chỉnh 0 cho mạch đo

Q_1, Q_2 (BC107): transistor có hệ số khuếch đại lớn

Q_3 (BC309C): transistor tạo nguồn dòng điện cho mạch đo điện trở.

Sự hoạt động của mạch đo: Mạch có hai Op-Amp 741.

Op-Amp(1): Có nhiệm vụ kết hợp với Q_3 tạo ra dòng điện I_{C3} của Q_3 được ổn định không bị thay đổi điểm phân cực do nhiệt độ của môi trường và của bản thân transistor Q_3 .

Op-Amp(2): Dùng làm mạch đo điện trở, mạch này có hệ số khuếch đại bằng 1.

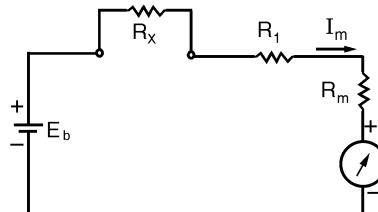
Qui trình chỉnh Op-Amp kế: Trước hết cho $R_X = 0$ để chỉnh vị trí 0 cho thang đo (có thể chỉnh trị số ∞) ở mỗi lần thay đổi tầm đo đều phải chỉnh trị số lớn nhất cho thang đo để tránh sai số phi tuyến do điện trở tầm đo gây ra.

BÀI TẬP

3.1. Một ohm-kế loại nối tiếp có mạch đo (H.B.3.1). Nguồn $E_b = 1,5V$, cơ cấu đo có $I_{fs} = 100\mu A$. Điện trở $R_1 + R_m = 15k\Omega$.

a) Tính dòng điện chạy qua cơ cấu đo khi $R_x = 0$

b) Tính trị giá R_x để cho kim chỉ thị có độ lệch bằng $1/2$ FSD, $1/4$ FSD và $3/4$ FSD (FSD: độ lệch tối đa thang đo).



Hình B.3.1

Giải:

$$a) I_m = \frac{E_b}{R_x + R_1 + R_m} = \frac{1,5V}{0 + 15k\Omega} = 100\mu A \text{ (FSD)}$$

□ Độ lệch bằng 1/2 FSD:

$$I_m = \frac{100\mu A}{2} = 50\mu A \text{ (vì cơ cấu đo tuyến tính).}$$

$$R_x + R_1 + R_m = \frac{E_b}{I_m} \Rightarrow R_x = \frac{E_b}{I_m} - (R_1 + R_m) = \frac{1,5V}{50\mu A} - 15k\Omega = 15k\Omega$$

□ Độ lệch bằng 1/4 FSD:

$$I_m = \frac{100\mu A}{4} = 25\mu A; R_x = \frac{1,5V}{25\mu A} - 15k\Omega = 45k\Omega$$

□ Độ lệch bằng 3/4 FSD:

$$I_m = 0,75 \times 100\mu A = 75\mu A; R_x = \frac{1,5V}{75\mu A} - 15k\Omega = 5k\Omega$$

3.2. Một ohm-kế có mạch đo (H.B.3.2).

Biết: $E_b = 1,5V$; $R_1 = 15k\Omega$; $R_m = 50\Omega$; $R_2 = 50\Omega$, cơ cấu đo có $I_{fs} = 50\mu A$.

Tính trị giá R_x khi kim chỉ thị có độ lệch tối đa: (FSD); 1/2 FSD và 3/4 FSD.

Giải: Kim lệch tối đa (FSD):

$$I_m = 50\mu A; V_m = I_m R_m = 50\mu A \times 50\Omega = 2,5mV$$

$$I_2 = \frac{V_m}{R_2} = \frac{2,5mV}{50\Omega} = 50\mu A$$

Dòng điện mạch chính: $I_b = I_2 + I_m = 50\mu A + 50\mu A = 100\mu A$.

$$R_x + R_1 = \frac{E_b}{I_b} = \frac{1,5V}{100\mu A} = 15k\Omega$$

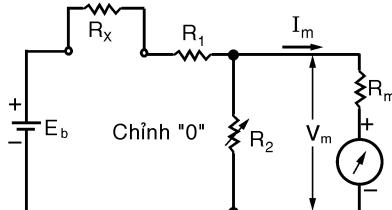
$$R_x = (R_x + R_1) - R_1 = 15k\Omega - 15k\Omega = 0$$

Kim lệch 1/2 FSD:

$$I_m = 25\mu A; V_m = 25\mu A \times 50\Omega = 1,25mV; I_2 = \frac{1,25mV}{50\Omega} = 25\mu A$$

$$I_b = 25\mu A + 25\mu A = 50\mu A$$

$$R_x + R_1 = \frac{1,5V}{50\mu A} = 30k\Omega; R_x = 30k\Omega - 15k\Omega = 15k\Omega$$



Hình B.3.2

Kim lệch 3/4 FSD:

$$I_m = 0,75 \times 50\mu A = 37,5\mu A; V_m = 37,5\mu A \times 50\Omega = 1,875mV$$

$$I_2 = \frac{1,875mV}{50\Omega} = 37,5\mu A; I_b = 37,5\mu A + 37,5\mu A = 75\mu A.$$

$$R_x + R_1 = \frac{1,5V}{75\mu A} = 20k\Omega \Rightarrow R_x = 20k\Omega - 15k\Omega = 5k\Omega$$

3.3. Một Ohm-kế có mạch đo ở bài 2. Có nguồn E_b giảm xuống chỉ còn 1,3V. Tính trị giá mới của R_2 ? Tính lại các trị giá R_x tương ứng với độ lệch của kim: 1/2 FSD, 3/4 FSD.

Giải: Khi $R_x = 0$; $I_b \approx \frac{E_b}{R_x + R_1} = \frac{1,3V}{0 + 15k\Omega} = 86,67\mu A$

$$I_m = 50\mu A \text{ (FSD)}; I_2 = I_b - I_m = 86,67\mu A - 50\mu A = 36,67\mu A$$

$$V_m = I_m R_m = 50\mu A \times 50\Omega = 2,5mV; R_2 = \frac{V_m}{I_2} = \frac{2,5mV}{36,67\mu A} = 68,18\Omega$$

Kim có độ lệch 1/2 FSD:

$$I_m = 25\mu A; V_m = 25\mu A \times 50\Omega = 1,25mV$$

$$I_2 = \frac{V_m}{R_2} = \frac{1,25mV}{68,18\Omega} = 18,33\mu A$$

$$I_b = I_m + I_2 = 25\mu A + 18,33\mu A = 43,33\mu A$$

$$R_x + R_1 = \frac{V_m}{I_b} = \frac{1,3V}{43,33\mu A} = 30k\Omega \Rightarrow R_x = 30k\Omega - 15k\Omega = 15k\Omega$$

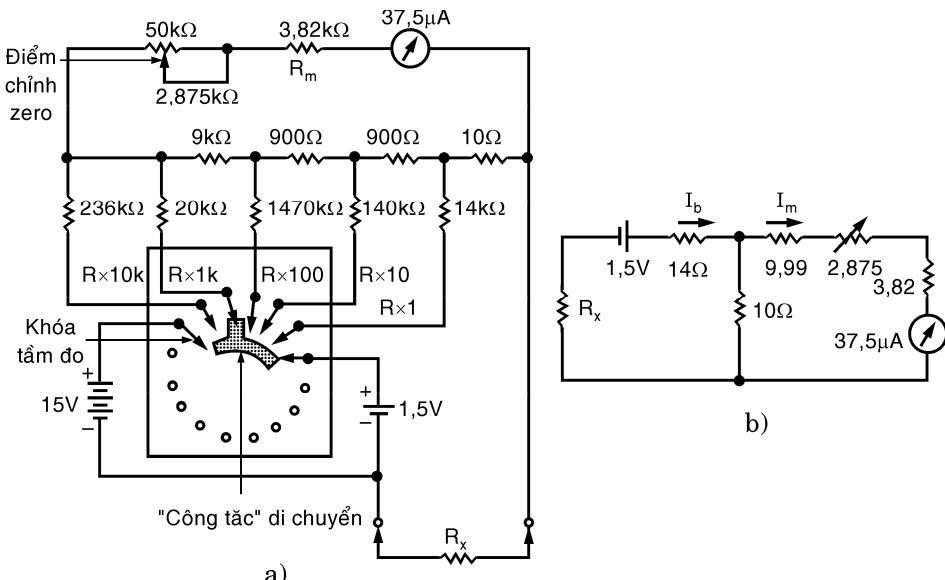
Kim có độ lệch 3/4 FSD:

$$I_m = 0,75 \times 50\mu A = 37,5\mu A; V_m = 37,5\mu A \times 50\Omega = 1,875mV$$

$$I_2 = \frac{1,875mV}{68,18\Omega} = 27,5\mu A; I_b = 37,5\mu A + 27,5\mu A = 65\mu A$$

$$R_x + R_1 = \frac{V_m}{I_b} = \frac{1,3V}{65\mu A} = 20k\Omega \Rightarrow R_x = 20k\Omega - 15k\Omega = 5k\Omega$$

3.4. Tính dòng điện chạy qua cơ cấu đo và độ lệch của kim chỉ thị của ohm-kế có mạch đo như hình vẽ khi ta sử dụng tầm đo $R \times 1$ trong hai trường hợp: a) $R_x = 0$ và b) $R_x = 24\Omega$.



Hình B.3.4

Giải: Mạch tương đương của ohm-kế khi ta sử dụng tầm đo $R \times 1$ trong hai trường hợp $R_x = 0$ và $R_x = 24\Omega$ như sau:

$$\square \text{ Khi } R_x = 0: I_b = \frac{1,5\text{V}}{14\Omega + [10\Omega // (9,99\text{k}\Omega + 2,875\text{k}\Omega + 3,82\text{k}\Omega)]}$$

$$I_b = \frac{1,5\text{V}}{14\Omega + (10\Omega // 16,685\text{k}\Omega)} = 62,516\text{mA}.$$

Dòng I_m chạy qua cơ cấu đo:

$$I_m = 62,516\text{mA} \cdot \frac{10\Omega}{10\Omega + 16,685\text{k}\Omega}$$

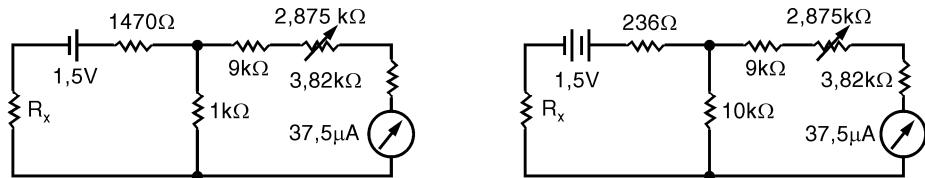
$$I_m = 37,5\mu\text{A} = I_{fs}: \text{kim lêch tối đa.}$$

\square Khi $R_x = 24\Omega$:

$$I_b = \frac{1,5\text{V}}{24\Omega + 14\Omega(10\Omega // (16,685\text{k}\Omega))} = 31,254\text{mA}$$

$$I_m = 31,254\text{mA} \cdot \frac{10\Omega}{10\Omega + 16,685\text{k}\Omega} = 18,72\mu\text{A}: \text{kim lêch 1/2 FSD}$$

3.5. Tính dòng điện chạy qua cơ cấu đo và độ lệch của kim chỉ thị của Ohm-kế có mạch đo như bài 4, khi ta sử dụng tầm đo $R \times 100$ và $R \times 10\text{K}$ trong trường hợp $R_x = 0$.



Hình B.3.5

Giải: Mạch tương đương của ohm-kế khi ta sử dụng tầm đo $R \times 100$ và $R_x = 0$.

$$\begin{aligned} I_b &= \frac{1,5V}{1470\Omega + [1k\Omega//(9k\Omega + 2,875k\Omega + 3,82k\Omega)]} \\ &= \frac{1,5V}{1470\Omega + (1k\Omega//15,695k\Omega)} = 622,38\mu A \end{aligned}$$

$$I_m = 622,38\mu A \frac{1k\Omega}{1k\Omega + 15,695k\Omega} = 37,5\mu A = I_{fs}; \text{ kim chỉ thị lêch tối đa.}$$

□ Mạch tương đương của ohm-kế khi ta sử dụng tầm đo $R \times 10k\Omega$ và $R_x = 0$.

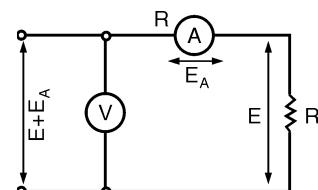
$$\begin{aligned} I_b &= \frac{15V}{236k\Omega + [10k\Omega//(2,875k\Omega + 3,82k\Omega)]} \\ &= \frac{15V}{236k\Omega + [10k\Omega//6,695k\Omega]} = 62,5\mu A \\ I_M &= 62,5\mu A \frac{10k\Omega}{10k\Omega + 6,695k\Omega} = 37,5\mu A = I_{fs}; \text{ kim chỉ thị lêch tối đa.} \end{aligned}$$

3.6. Ta đo điện trở bằng cách dùng phương pháp V và A được mắc rẽ dài. Ampe-kế chỉ $0,5A$, vôn-kế chỉ $500V$. Ampe-kế có $R_a = 10\Omega$, vôn-kế sử dụng tầm đo $1000V$ và có độ nhạy là $10k\Omega/V$. Tính trị giá R .

Giải: $E + E_A = 500V$; $I = 0,5A$

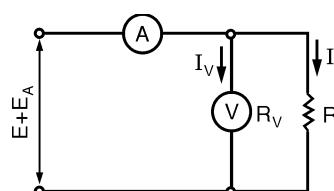
$$R_a + R = \frac{E + E_A}{I} = \frac{500V}{0,5A} = 1000\Omega$$

$$R = 1000\Omega - R_a = 1000\Omega - 10\Omega = 990\Omega$$



Hình B.3.6

3.7. Các ampe-kế, vôn-kế và điện trở R ở bài 6 được mắc rẽ ngắn. Hãy tính độ chỉ của vôn-kế và ampe-kế (nguồn cung cấp vẫn là $500V$)



Hình B.3.7

Giải: Nội trở của vôn-kế:

$$R_v = 1000V \times 10k\Omega/V = 10M\Omega.$$

$$R_V // R = 10M\Omega // 990\Omega = 989,9\Omega$$

□ Độ chỉ của vôn-kế: $E = \frac{500V \times (R_V // R)}{R_a + (R_V // R)} = \frac{5000V \times 989,9\Omega}{10\Omega + 989,9\Omega} = 495V$

□ Độ chỉ của ampe-kế $I + I_V = \frac{E}{R_V // R} = \frac{495V}{989,9\Omega} = 0,5A$.

3.8. Một Ohm-kế nối tiếp có điện trở $R_1 = 50k\Omega$ cơ cấu đo có $I_{fs} = 75\mu A$ và $R_M = 100\Omega$. Điện trở mắc shunt $R_2 = 300\Omega$, nguồn cung cấp $E = 5V$. Hãy cho biết trị giá điện trở R_x đo được tương ứng với độ lệch của kim: 0,25%; 50%; 75%; và 100% FSD.

3.9. Một Ohm-kế nối tiếp có các thành phần sau: nguồn cung cấp $E_b = 3V$, điện trở nối tiếp $R_1 = 30k\Omega$, điện trở shunt $R_2 = 50\Omega$, cơ cấu đo có $I_{fs} = 50\mu A$, điện trở cơ cấu đo $R_m = 50\Omega$. Cho biết trị giá R_x đo được tương ứng với độ lệch: 1/4 FSD, 1/2FSD và FSD.

3.10. Hãy vẽ mạch đo cho ohm-kế nối tiếp có nhiều tầm đo. Hãy giải thích sự hoạt động của mạch.

3.11. Giả sử ohm-kế ở bài 3.9 có E_b giảm xuống còn 2,5V, hãy xác định trị giá mới R_2 cần phải điều chỉnh, và như thế tính lại các trị giá R_x tương ứng với độ lệch: 1/2FSD và 3/4FSD.

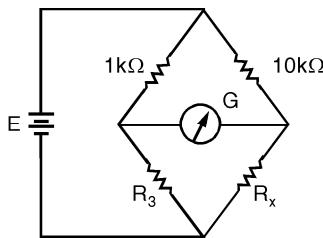
3.12. Ta đo R_x bằng cách dùng phương pháp vôn-kế + ampe-kế có cách mắc rẽ dài. Ampe-kế có nội trở $R_a = 10\Omega$, vôn-kế có độ nhạy $10k\Omega/V$. Ampe-kế và vôn-kế có cấp chính xác là 1%. Tính trị giá thật của R_x khi ampe-kế chỉ 0,5A ở tầm đo 1A, và vôn-kế chỉ 500V ở tầm đo 1000V.

3.13. Ta đo R_x bằng phương pháp vôn-kế + ampe-kế có cách mắc rẽ ngắn. Ampe-kế có $R_a = 0,1\Omega$, vôn-kế sử dụng tầm đo 5V, có độ nhạy $10k\Omega/V$. Khi vôn-kế chỉ 5V, ampe-kế chỉ 0,6mA ở tầm đo 1mA.

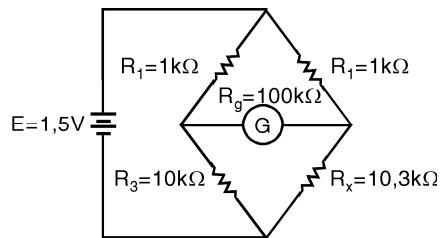
a) Tính trị giá đo được R_x .

b) Tính trị giá thật R_x nếu vôn-kế và ampe-kế có cấp chính xác 1%.

3.14. Hãy tính R_3 để cầu Wheatstone có thể đo được R_x trong khoảng từ: 1Ω đến $100k\Omega$ bằng phương pháp cân bằng.



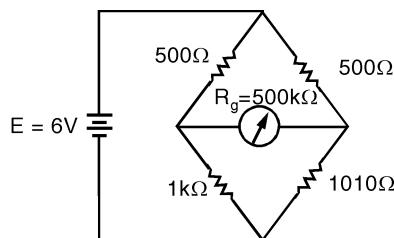
Hình B.3.14



Hình B.3.15

3.15. Tính dòng điện I_g đi qua điện kế (H.B.3.15).

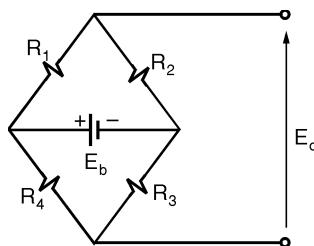
3.16. Nếu điện kế ở hình B.3.16 có độ nhạy $S_g = 10\text{mm}/\mu\text{A}$, hãy xác định độ lệch của điện kế?



Hình B.3.16

3.17. Cho mạch đo như hình B.3.17. Xác định E_o theo E_b và phần tử cầu đo trong các trường hợp sau:

- $R_1 = R + \Delta R; R_2 = R_3 = R_4 = R$ ($R \ll \Delta R$)
- $R_1 = R_3 = R + \Delta R; R_2 = R_4 = R$ ($R \ll \Delta R$)
- $R_1 = R_3 = R + \Delta R; R_2 = R_4 = R - \Delta R$ ($R \ll \Delta R$)



Hình B.3.17

Chương 4

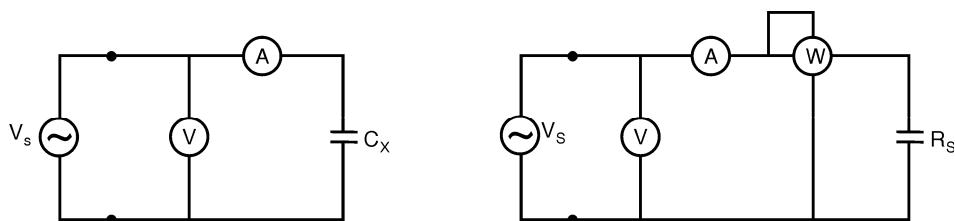
ĐO ĐIỆN DUNG, ĐIỆN CẢM VÀ HỒ CẢM

4.1 DÙNG VÔN-KẾ, AMPE-KẾ ĐO ĐIỆN DUNG, ĐIỆN CẢM VÀ HỒ CẢM

4.1.1 Đo điện dung

Mạch đo được mắc theo hình 4.1. Tổng trớ của điện dung C_X được xác định bởi vôn-kế và ampe-kế (nếu sự hao mất do điện môi của tụ điện không đáng kể).

$$Z_{CX} = \frac{V}{I} = \frac{1}{C_X \omega}; \text{ Suy ra: } C_X = \frac{I}{V\omega}$$



Hình 4.1: Mạch đo C_X dùng vôn-kế và ampe-kế **Hình 4.2:** Mạch đo C_X, R_X dùng vôn-kế, ampe-kế và watt-kế

Nguồn tín hiệu cung cấp cho mạch đo phải là nguồn tín hiệu hình sin, có độ méo dạng nhỏ (họa tần được xem không đáng kể). Biên độ và tần số của tín hiệu phải ổn định (không thay đổi). Nếu tín hiệu có sóng hài (họa tần) bậc cao thì sẽ tạo ra sai số đáng kể cho kết quả đo. Trong trường hợp mạch đo dùng thêm watt-kế (H.4.2), điện trở rỉ R_X của điện dung C_X được xác định bởi biểu thức sau: $R_X = P/I^2$

Tổng trở của điện dung: $Z = V/I = \sqrt{R_X^2 + (1/C_X\omega)^2}$

Và điện dung cần đo: $C_X = 1/\omega\sqrt{Z^2 - R_X^2}$

Từ ba biểu thức trên ta suy ra: $C_X = 1/[\omega\sqrt{V^2/I^2 - (P/I)^2}]$

$$\text{Do đó: } C_X = \frac{I^2}{\omega \sqrt{V^2 I^2 - P^2}}$$

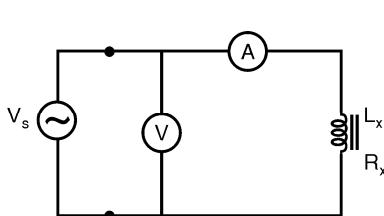
Sự hao mất công suất do điện dung cho bởi:

$$P = VI \cos \varphi = I^2 \frac{1}{C_X \omega} \sin \delta, (\text{vì } \delta = \frac{\pi}{2} - \varphi)$$

δ : góc mất của điện dung. Nếu góc mất nhỏ: $\operatorname{tg} \delta \approx \sin \delta = P\omega C_X / I^2$.

Sự chính xác của phương pháp đo này có thể bằng hoặc lớn hơn phương pháp đo trước. Phương pháp dùng watt-kế không chính xác khi xác định những điện dung có góc mất nhỏ. Để đo góc mất δ được chính xác, người ta thường dùng phương pháp cầu đo (đề cập ở phần sau).

4.1.2 Đo điện cảm



Hình 4.3: Mạch đo L_X, R_X dùng vôn-kế và ampe-kế **Hình 4.4:** Mạch đo L_X, R_X dùng vôn-kế, ampe-kế và watt-kế

Mạch đo điện cảm L_X được mắc như hình 4.3. Tổng trở của điện cảm L_X được xác định: $Z = \frac{V}{I} = \sqrt{R_X^2 + L_X^2 \omega^2}$

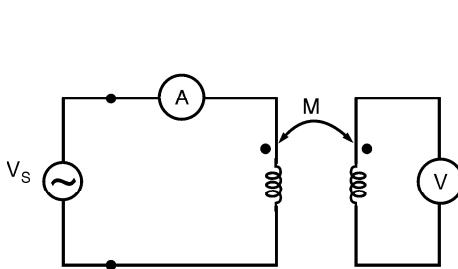
$$\text{và điện cảm: } L_X = \frac{1}{\omega} \sqrt{Z^2 - R_X^2}$$

với: Z - được xác định bởi vôn-kế và ampe-kế; R_X - được xác định trước.

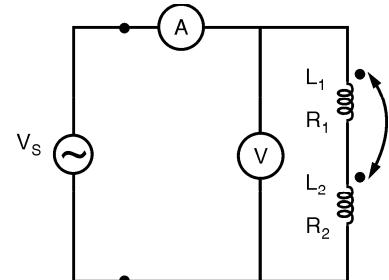
Trong trường hợp dùng thêm watt-kế như hình 4.4 cuộn dây có điện cảm L_X được xác định: $L_X = \frac{1}{\omega I^2} \sqrt{V^2 I^2 - P^2}$

với P là công suất hao của cuộn dây được xác định bởi watt-kế.

4.1.3 Đo hệ số hõ cảm M



Hình 4.5: Mạch đo M dùng vôn-kế và ampe-kế



Hình 4.6: Đo M của hai cuộn dây mắc nối tiếp (quấn cùng chiều)

Theo mạch đo hình 4.5, hệ số hõ cảm M giữa hai cuộn dây được xác định bởi: $M = V/I\omega$; V và I cho bởi vôn-kế và ampe-kế.

Ngoài ra chúng ta cũng biết: $M = n_1 n_2 / R$

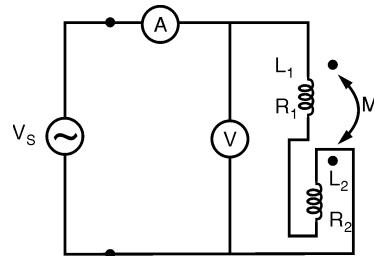
n_1, n_2 : số vòng dây quấn vào cuộn dây 1 và 2. R : từ trở của mạch từ

Trong trường hợp hai cuộn dây được mắc nối tiếp với nhau trên cùng mạch từ, có cùng chiều quấn (cực tính của cuộn dây được định trên hình 4.6), thì tổng số điện cảm của hai cuộn dây được xác định: $L_a = L_1 + L_2 + 2M$

Do đó L_a được xác định bởi tổng trở Z_a cho bởi vôn-kế và ampe-kế:

$$L_a = \frac{1}{\omega} \sqrt{Z_a^2 - (R_1 + R_2)^2} \text{ với } Z_a \text{ - tổng trở của hai cuộn dây.}$$

Trong trường hợp hai cuộn dây được mắc nối tiếp với nhau trên cùng mạch từ có chiều quấn ngược nhau (cực tính của cuộn dây được định trên hình 4.7, khi đó tổng số điện cảm của hai cuộn dây được xác định.



$$L_b = L_1 + L_2 - 2M$$

và L_b cũng được xác định bởi tổng trở Z_b cho bởi vôn-kế và ampe-kế theo biểu thức:

$$L_b = \frac{1}{\omega} \sqrt{Z_b^2 - (R_1 + R_2)^2}$$

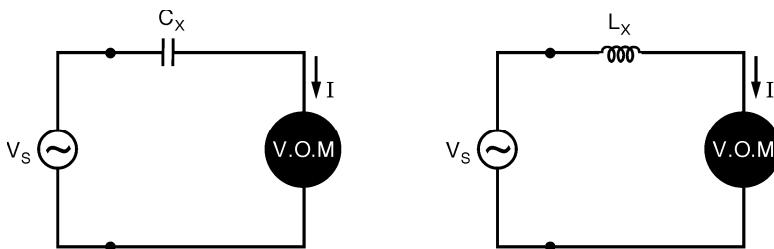
Hình 4.7: Đo M của hai cuộn dây mắc nối tiếp (qua án ngược)

Từ hai giá trị của L_a , L_b có thể suy ra hệ số hooke cảm M như sau:

$$L_a - L_b = 4M \text{ Hoặc } M = (L_a - L_b)/4$$

4.1.4 Đo điện dung và điện cảm trong máy đo đa dụng (V.O.M)

Có một số máy V.O.M ngoài chức năng đo điện áp, dòng điện, điện trở, còn có chức năng đo điện dung hoặc điện cảm. Với khoảng tầm đo cho điện dung, điện cảm hạn chế. Mạch đo cũng dùng nguyên lý đo tổng trở, những trị số này được chuyển sang những đại lượng xoay chiều, được chỉ thị trên thang đo, theo giá trị (đơn vị mH hoặc μF) của điện dung hoặc điện cảm. Theo mạch đo nguyên lý hình 4.8.



Hình 4.8: Đo C_X và L_X bằng V.O.M

e_S : nguồn tín hiệu đã biết được biên độ và tần số (có trong máy đo V.O.M).

Bộ chỉ thị G bao gồm mạch chỉnh lưu dòng xoay chiều với cơ cấu điện từ.

Dòng điện I (trị hiệu dụng) qua G phụ thuộc vào trị số C_X hoặc L_X . Khi E_S (trị hiệu dụng) và $\omega = 2\pi f$ (tần số của tín hiệu e_S) đã được xác định và ổn định thì ta có $I = E_S \omega C_X$ hoặc $I = E_S / L_X \omega$.

4.2 DÙNG CẦU ĐO ĐO ĐIỆN DUNG VÀ ĐIỆN CẢM

4.2.1 Cầu Wheatstone xoay chiều

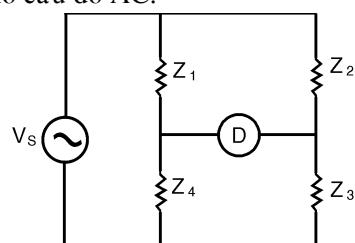
Để đơn giản ta coi cầu đo AC được cấu tạo giống như cầu đo Wheatstone một chiều (cầu đo DC). Các phần tử của cầu là điện trở, điện dung hoặc điện cảm. Nguồn cung cấp là tín hiệu sin (độ méo dạng nhỏ), tần số âm tần (khoảng 1kHz hoặc tần số điện lưới). Phương pháp đo dùng cho cầu đo AC giống như cầu đo DC. Đối với phương pháp cân bằng hoặc không cân bằng, chúng ta chỉ đề cập đến phương pháp cân bằng cho cầu đo AC.

Điều kiện cân bằng cho cầu đo AC

Theo mạch đo của cầu đo AC (H.4.9):

$$Z_1 \cdot Z_3 = Z_2 \cdot Z_4$$

Từ phương trình này ta có sự cân bằng theo



Hình 4.9

Cầu Wheatstone AC

điều kiện:

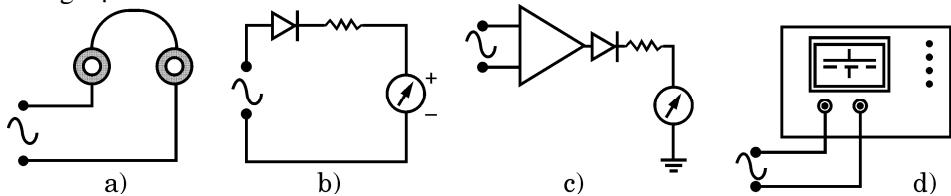
- Cân bằng suất: $|Z_1||Z_3| = |Z_2||Z_4|$
- Cân bằng pha: $|Z_1 + Z_3| = |Z_2 + Z_4|$

Nếu khai triển số phức của phương trình cân bằng, ta có:

- Cân bằng phần thực: $R_e[Z_1Z_3] = R_e[Z_2Z_4]$
- Cân bằng phần ảo: $I_m[Z_1Z_3] = I_m[Z_2Z_4]$

Thiết bị chỉ thị sự cân bằng của cầu đo AC

Tai nghe (earphone hoặc headphone): giá thành rẻ, tương đối nhạy, được dùng phổ biến có khả năng phân biệt được sự cân bằng của cầu một cách tương đối chính xác. Tuy nhiên còn phụ thuộc vào độ thính tai của người làm thí nghiệm.



Hình 4.10: Các thiết kế chỉ thị cân bằng

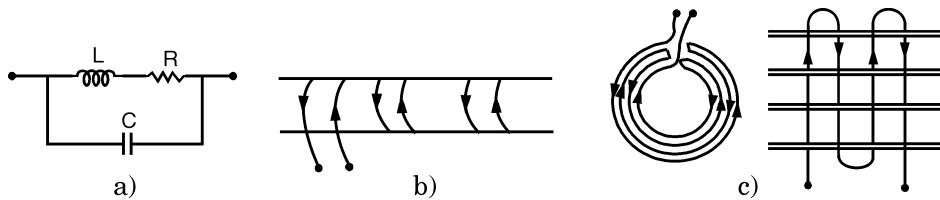
- a) *Tai nghe;*
- b) *Điện kế AC*
- c) *Điện kế AC có khuếch đại;*
- d) *Dao động ký tia âm cực*

Vôn-kế điện tử hoặc điện kế AC: Điện kế DC' kết hợp với mạch chỉnh lưu hoặc bộ biến đổi AC/DC chúng ta có điện kế AC. Muốn tăng độ nhạy cho cầu AC chúng ta thêm mạch khuếch đại cho điện kế AC (H.4.10). Thiết bị này chính xác hơn và khách quan hơn so với *tai nghe*. Ngoài ra còn có thể có nhiều tầm độ nhạy khác nhau thay đổi theo điện áp không cân bằng của cầu.

Dao động ký tia âm cực: Theo điều kiện thuận lợi của phòng thí nghiệm, nếu có được dao động ký, chúng ta cũng có thể dùng để kiểm tra sự cân bằng của cầu một cách chính xác hơn với mọi tín hiệu ở tần số bất kỳ cung cấp cho cầu.

Các phần tử mẫu (diện trở mẫu, điện cảm mẫu, tụ điện mẫu) dùng trong cầu AC

Điện trở mẫu



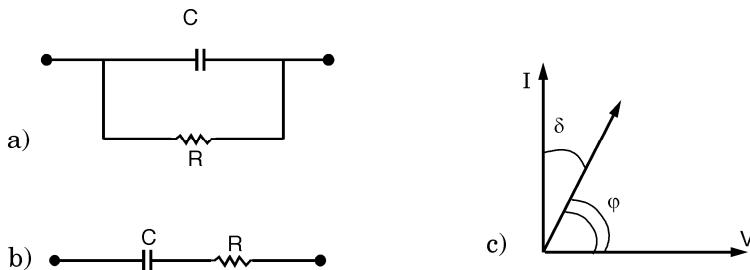
Hình 4.11: a) Mạch tương đương của điện trở ở tần số cao
b) Kiểu quấn số vòng thuận nghịch kế cận bằng nhau
c) Kiểu quấn Curtis và Grover

Đối với phần tử điện trở hoạt động ở tín hiệu xoay chiều, giá trị điện trở thường lớn hơn trong trường hợp hoạt động với dòng điện DC. *Hiệu ứng ngoài mặt* của dây dẫn (skin effect) phụ thuộc vào tần số tín hiệu, thiết diện dây dẫn và điện trở suất. Ở tần số âm thanh (1kHz) hiệu ứng này không đáng kể khi dây có điện trở suất lớn và thiết diện nhỏ được sử dụng. Đối với tín hiệu AC có tần số cao đi qua điện trở mạch tương đương của điện trở có dạng mạch tương đương như hình 4.11a. Để giảm được điện cảm ký sinh người ta quấn số vòng thuận nghịch kế cận nhau. Tuy nhiên để ảnh hưởng của tụ điện ký sinh giảm người ta quấn dây dẫn theo kiểu Curtis và Grover, khi điện trở có giá trị lớn người ta quấn trên bìa mỏng theo kiểu đan rổ.

Tụ điện: Trong thực tế dòng điện I qua tụ điện không lệch pha 90^0 đối với điện áp rơi trên tụ điện vì có tổn hao bên trong tụ điện. Tổn hao này do điện môi trong tụ điện có điện trở rỉ (không cách điện hoàn toàn). Do đó mạch tương đương của tụ điện được diễn tả theo hình 4.12. Nếu gọi δ là góc mất của điện dung do tổn hao công suất trên điện dung, thì ta có:

$$P = VI \cos\varphi = VI \sin\delta, \text{ với } \varphi = \frac{\pi}{2} - \delta$$

Nếu δ nhỏ, công suất hao mất trên điện dung $P = VI\delta$. Các tụ điện mẫu dùng trong cầu đo xoay chiều được chế tạo bằng các điện môi có tổn hao rất ít (độ cách điện tốt), góc mất δ cố định không phụ thuộc vào tần số tín hiệu và nhiệt độ của môi trường. Có nhiều loại tùy theo khoảng trị số tụ điện cần sử dụng.



Hình 4.12: a) Mạch tương đương của điện dung khi δ lớn
b) δ nhỏ; c) Giải đồ vectơ V - I

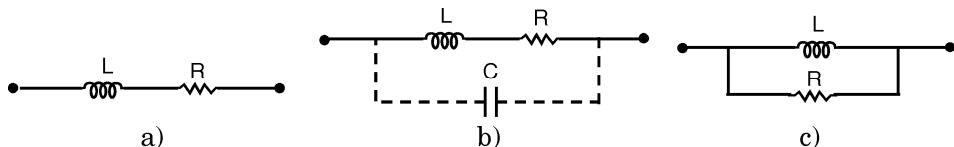
Tụ điện có điện môi là không khí: Trị số điện dung rất nhỏ khoảng vài trăm pF, góc mất nhỏ không để bụi hay ẩm.

Tụ điện mica: Điện môi là vật liệu mica có điện dung từ vài pF (*picofarad*) đến $0,1\mu\text{F}$ (*microfarad*), góc mất nhỏ (khoảng 10^{-4} rad).

Tụ điện bằng Polystyrene: Có đặc tính không phụ thuộc vào tần số nhưng ánh hưởng vì nhiệt độ rất lớn, chỉ sử dụng dưới 70°C , có góc mất nhỏ, có thể tích nhỏ hơn tụ điện mica nếu có cùng trị số.

Ngoài ra, trong công nghiệp chúng ta thường gặp tụ điện giấy. Điện môi là giấy tấm dung dịch cách điện, thường có trị số lớn nhưng góc mất cũng lớn.

Cuộn dây: Có điện cảm L , điện trở R của dây quấn và có mạch tương đương ở tần số cao như hình 4.13 còn điện dung ký sinh ở giữa các vòng dây quấn của cuộn dây không đáng kể ở tần số tín hiệu âm tần, nhưng được quan tâm đến tần số cao.



Hình 4.13: a) Mạch tương đương của cuộn dây khi Q nhỏ
b) Ở tần số cao; c) Khi Q lớn

Các *điện cảm mẫu* được chế tạo dưới dạng ống dây có kích thước xác định chính xác. Các *điện cảm mẫu* thay đổi được nhờ hai ống dây ghép nối tiếp và phần thay đổi được là lõi của cuộn dây. Trị số *điện cảm* thay đổi được phụ thuộc vào vị trí của lõi.

4.2.2 Cầu đo đơn giản đo điện dung và điện cảm

Cầu đo điện dung: Mạch đo được mắc theo hình 4.14.

Z_1 : là tụ điện mẫu C_1 (có thể thay đổi được trị số)

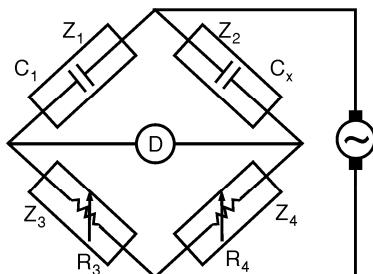
Z_2 : tụ điện cần đo C_X

Z_3, Z_4 : là những điện trở mẫu thay đổi được hoặc là những hộp điện trở thay đổi.

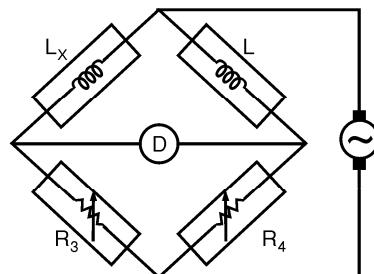
Khi cầu cân bằng “D” chỉ 0.

$$Z_1 Z_4 = Z_2 Z_3; \frac{1}{j\omega C_X} R_3 = \frac{1}{j\omega C_1} R_4; \text{ Suy ra: } C_X = \frac{R_3}{R_4} C_1$$

Với giá trị cầu đo C_X bất kỳ, chúng ta điều chỉnh tỉ số R_3/R_4 và C_1 (nếu là tụ điện mẫu thay đổi được) cho cầu cân bằng để xác định C_X .



Hình 4.14
Cầu đo C_X đơn giản



Hình 4.15
Cầu đo L_X đơn giản

Cầu đo điện cảm cuộn dây: Mạch đo được mắc theo hình 4.15

Z_1 : cuộn dây mẫu L_1 ; Z_2 : cuộn dây do L_X

R_3, R_4 : là điện trở mẫu (hộp điện trở) thay đổi được.

Khi cầu đo đạt được điều kiện cân bằng:

$$Z_2 R_4 = Z_1 R_3; j\omega L_X R_4 = j\omega L_1 R_3; L_X = (R_3/R_4)L_1$$

Trong hai cầu đo đơn giản trên chúng ta chỉ xác định thuần túy giá trị C_X và L_X . Không xác định sự hao mất trên điện dung cũng như trên điện cảm cần đo.

4.2.3 Cầu phổ quát (universal bridge) đo điện dung và điện cảm

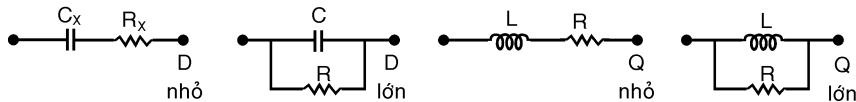
Hệ số hao mất của điện dung: Trong thực tế mạch tương đương của điện dung có hai dạng tùy theo sự hao mất của điện dung. Do đó chất lượng của điện dung được đánh giá qua hệ số D của điện dung (D factor).

☐ Trưởng hợp điện dung có hao măt nhở: trị số D nhở măch tương đương bao gồm $[C_X + R_X]$ (H.4.16).

☐ Hệ số D được xác định bằng biểu thức: $\text{Re } Z_X / \text{Im}(Z_X) = D = \tan \delta$

$$\text{Như vậy với } Z_X = R_X + \frac{1}{j\omega C_X}; D = \frac{R_X}{(1/\omega)C_X} = R_X C_X \omega$$

Theo biểu thức trên D thường có giá trị nhở ($D < 0,1$).



Hình 4.16: Măch tương đương của C, L

Trưởng hợp điện dung có hao măt lớn, hệ số D lớn. Măch tương đương của điện dung $[C_X // R_X]$.

$$\text{Tổng tră Z của điện dung có dạng: } \frac{1}{Z_X} = \frac{1}{R_X} + jC_X \omega$$

$$\text{Hệ số D được xác định: } D = \frac{1/R_X}{C_X \omega} = \frac{1}{R_X \omega C_X}; \quad (D > 0,1: D lớn).$$

Hệ số Q của cuộn dây: Phẩm chất của cuộn dây có điện cảm L_X được xác định bằng hệ số Q . Nếu cuộn dây có sự hao măt nhở (điện tră của cuộn dây nhở) thì có măch tương đương R_X nối tiếp L_X có hệ số Q của cuộn dây là:

$$Q = \frac{\text{pha} \hat{a} \text{ a} \hat{a} Z_X}{\text{pha} \hat{a} \text{ thö} \hat{c} Z_X}, \quad (\text{ngược lại với hệ số của điện dung})$$

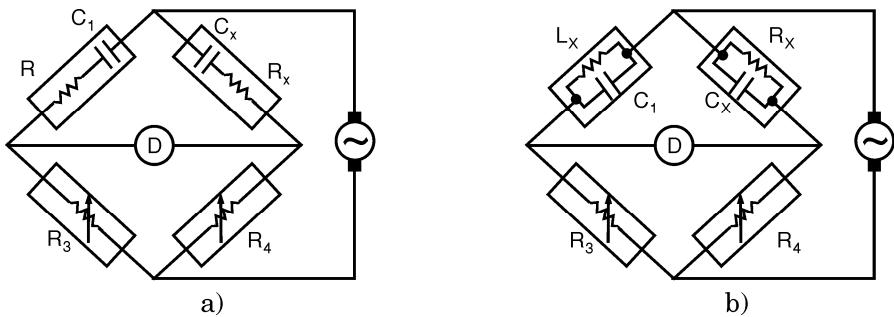
$$Q^* = \frac{L_X \omega}{R_X} \quad (\text{trò soá nhö} \hat{u}, (Q < 10: Q nhở)).$$

Nếu cuộn dây có sự hao măt lớn (điện tră của cuộn dây lớn) thì măch tương đương $(R_X // L_X)$: $\frac{1}{Z_X} = \frac{1}{R_X} + \frac{1}{j\omega R_X}$

$$Q = \frac{1/\omega L_X}{1/R_X} = \frac{R_X}{\omega L_X} \quad (\text{trị số lớn}); \quad (Q > 10: Q lớn).$$

Tùy theo giá trị của D (điện dung ký sinh), Q (điện cảm) lớn hơn hoặc nhở së có măch cầu đo phö quát cho từng loại.

Cầu phö quát đo điện dung: Cầu phö quát đo điện dung gồm có hai loại điện dung có hệ số D lớn và nhở (H.4.47).



Hình 4.17: Cầu phô quát đo điện dung: a) Cầu Sauty; b) Cầu Nernst

Trong mạch cầu $[R_X + C_X]$.

$$\text{Khi cầu cân bằng: } \frac{R_1 - j/\omega C_1}{R_3} = \frac{R_X - j/\omega C_3}{R_4}$$

$$\text{Cân bằng phần thực: } R_X = R_1(R_4/R_3)$$

$$\text{Cân bằng phần ảo: } 1/\omega C_X R_4 = 1/\omega C_1 R_3; \quad R_X = (R_3/R_4)C_1$$

Từ kết quả đo được C_X , R_X chúng ta xác định được hệ số D cho điện dung:

$$D = \omega C_X R_X = \omega \frac{R_3}{R_4} C_1 \frac{R_4}{R_3} R_1 = \omega C_1 R_1$$

Cho nên cầu đo phô quát cho chúng ta giá trị D khi ω , R_1 , C_1 được xác định.

Ví dụ 4.1: $C_1 = 0,1\mu F$; $R_3 = 10k\Omega$. Điều chỉnh: $R_1 = 125\Omega$; $R_4 = 14,7k\Omega$ thì cầu cân bằng xác định C_X , R_X , D biết rằng tần số tín hiệu số cung cấp cho cầu $f = 100$ Hz.

Giải: Theo điều kiện cân bằng của cầu:

$$C_X = \frac{R_3}{R_4} C_1 = \frac{10k\Omega}{14,7k\Omega} 0,1\mu F; \quad C_X = 0,068\mu F$$

$$R_X = \frac{R_3}{R_4} R_1 = \frac{14,7k}{10k} \times 125\Omega = 183,3\Omega$$

$$\text{Hệ số } D = \omega C_X R_X = 2\pi \times 100\text{Hz} \times 0,068\mu F \times 183,3\Omega = 0,008$$

Trong phương pháp đo C_X dùng cầu phô quát dạng này. Trị số đo C_X , R_X không phụ thuộc vào tần số của tín hiệu. Còn trong mạch cầu đo điện dung [$C_I//R_1$], C_1 , R_1 cũng được chuyển sang dạng [$C_1//R_1$] khi cầu cân bằng dẫn đến:

$$Z_I Z_4 = Z_2 Z_3; \quad Z_3(1/Z_I) = Z_4(1/Z_2)$$

$$R_3(1/R_I + j\boxed{C_1}) R_4(1/R_X + j\boxed{C_X})$$

$$\text{Cân bằng phần thực } \frac{R_3}{R_1} = \frac{R_4}{R_X}; \quad R_X = \frac{R_4}{R_3} R_1$$

$$\text{Cân bằng phần ảo } \omega R_3 C_I = \omega R_4 C_X; \quad C_X = (R_3/R_4) C_1$$

$$\text{Từ đó ta xác định được hệ số } D: D = 1/(\boxed{C_X R_X}) = 1/(\boxed{C_1 R_I})$$

Như đã phân tích ở trên tùy theo độ rỉ của tụ điện chúng ta có R_X mắc song song với C_X , R_X là điện trở của chất điện môi còn C_X là trị số thực của tụ điện, như vậy nếu độ rỉ của tụ điện càng nhỏ thì R_X càng lớn. Nếu độ rỉ lớn thì R_X có giá trị nhỏ. Cho nên mạch tương đương của điện dung trong cầu đo tạo thuận lợi cho việc xác định C_X , R_X . Ưu điểm của các cầu đo trên không phụ thuộc vào tần số của tín hiệu. Nhưng về phương diện tổng trở của hai mạch tương đương đều có tổng trở như nhau. Do đó có sự quan hệ giữa thành phần thuần trở R_P và kháng trở X_P với thuần trở R_S và kháng trở X_S , chúng được xác định như sau:

$$\text{Trong mạch tương đương } [C_S + R_S]: Z_S = R_S - j(1/C_S \boxed{\square}) = R_S - jX_S$$

$$\text{Trong mạch tương đương } [C_P // R_P]:$$

$$Y_P = 1/R_P + jC_P \omega = G_P + jB_P; \quad Y_P = 1/Z_P = \text{tổng dẫn}$$

với: G_P - điện dẫn thuần (đơn vị Siemen); B_P - kháng dẫn

$$\text{Theo đặc tính có cùng tổng trở như nhau: } Z_S = Z_P = 1/Y_P$$

$$R_S - jX_S = \frac{1}{G_P + jB_P} = \frac{G_P - jB_P}{G_P^2 + B_P^2}$$

$$\text{Hoặc: } G_P + jB_P = \frac{1}{R_S - jX_S} = \frac{R_S + jX_S}{R_S^2 + X_S^2}$$

Cân bằng phần thực:

$$G_P = \frac{1}{R_P} = \frac{R_S}{R_S^2 + X_S^2}; \quad \boxed{R_P = [R_S^2 + \frac{1}{C_S \omega^2}] / R_S}$$

Cân bằng phần ảo:

$$B_P = \frac{X_S}{R_S^2 + X_S^2}; \quad C_{P\omega} = \frac{1/C_S\omega}{R_S^2 + (1/C_S^2\omega^2)}$$

Suy ra: $C_P = \frac{C_S}{1 + R_S^2 C_S^2 \omega^2}$

Cầu phô quát đo điện cảm: Cầu phô quát đo điện cảm cũng gồm có hai dạng dùng cho loại điện cảm có hệ số Q nhỏ và Q lớn (H.4.18). Trong mạch cầu đo [$L_X + R_X$]: Cầu Maxwell.

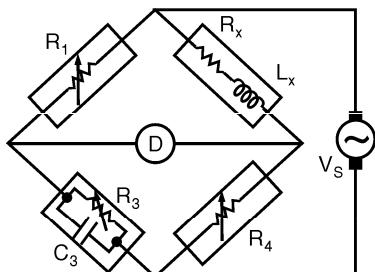
Khi cầu thỏa điều kiện cân bằng: $\frac{R_X + j\omega L_X}{R_4} = R_1 \left(\frac{1}{R_3} + jC_3\omega \right)$

Cân bằng phần thực: $\frac{R_X}{R_X} = \frac{R_1}{R_3}; \quad R_X = R_1 \frac{R_4}{R_3}$

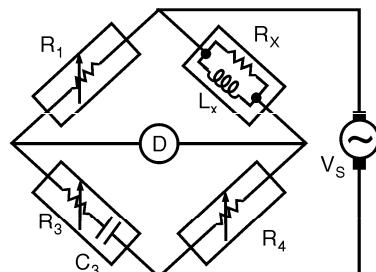
Cân bằng phần ảo: $\omega \frac{L_X}{R_4} = \omega C_3 R_1; \quad L_X = C_3 R_1 R_4$

Do đó hệ số Q của cuộn dây [$L_X + R_X$] được xác định:

$$Q = \frac{\omega L_X}{R_X} = \frac{\omega C_3 R_1 R_4}{R_1 R_4 / R_3} = \omega C_3 R_3.$$



a)



b)

Hình 4.18: Cầu phô quát đo điện cảm cuộn dây

a) Cầu Maxwell-Wien; b) Cầu Hay

Ví dụ 4.2: Trong cầu Maxwell (H.4.18), điện dung mău $C_3 = 0,1\mu F$, tần số tín hiệu cung cấp cho cầu $f = 100Hz$. Khi cầu cân bằng $R_1 = 1,26k\Omega$; $R_3 = 470\Omega$ và $R_4 = 500\Omega$, tính điện cảm L_X và R_X , hệ số Q.

Giải: Theo điều kiện cân bằng của cầu:

$$L_X = C_3 R_1 R_4 = 0,1 \times 10^{-6} F \times 1,26 \times 10^3 \Omega \times 500 \Omega = 63 \times 10^{-3} H = 63mH$$

$$R_X = R_1 \frac{R_4}{R_3} = \frac{1,26 \times 10^3 \Omega \times 500 \Omega}{470 \Omega} = 1,34 \times 10^3 \Omega = 1,34 k\Omega$$

Trị số Q của cuộn dây:

$$Q = \frac{\omega L_X}{R_X} = \frac{2\pi \times 100 Hz \times 63 \times 10^{-3} H}{1,34 \times 10^3} = 29540 \times 10^{-6} \approx 0,03$$

Còn trong mạch cầu đo [$L_X // R_X$], cầu Hay, khi cầu thỏa mãn điều kiện cân bằng:

$$R_1 R_4 = \frac{1}{1/R_X - j/L_X \omega} \left(R_3 - \frac{j}{C_3 \omega} \right); \quad \left(\frac{1}{R_X} - \frac{j}{L_X \omega} \right) R_1 R_4 = R_3 - \frac{j}{C_3 \omega}$$

Cân bằng phần thực: $\frac{R_1 R_4}{R_X} = R_3; \quad R_X = \frac{R_1 R_4}{R_3}$

Cân bằng phần ảo: $\frac{R_1 R_4}{L_X \omega} = \frac{1}{C_3 \omega}; \quad L_X = C_3 R_1 R_4$

Hệ số Q của cuộn dây trong trường hợp này được xác định như sau:

$$Q = \frac{\omega L_X}{R_X} = \frac{R_1 R_4 / R_3}{\omega C_3 R_1 R_4} = 1/R_3 C_3 \omega$$

Tương tự như mạch tương đương của điện dung, mạch tương đương của điện cảm [$L_S + R_S$] và [$L_P // R_P$] cũng được diễn tả như sau:

$$Z_S = R_S + j\omega L_S = R_S + jX_S, \quad \frac{1}{Z_P} = Y_P = \frac{1}{R_P} + \frac{1}{j\omega L_P} = G_P - jB_P$$

Như vậy: $Y_P = \frac{1}{Z_S} = G_P - jB_P = \frac{1}{R_S + jX_S}$

Suy ra: $G_P = \frac{R_S}{R_S^2 + X_S^2}; \quad B_P = \frac{X_S}{R_S^2 + X_S^2}$

Do đó: $R_P = \frac{R_S^2 + X_S^2}{R_S}; \quad \omega L_P = \frac{R_S^2 + X_S^2}{X_S}$

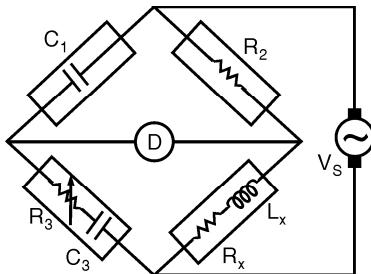
$$R_P = \frac{R_S^2 + \omega^2 L_S^2}{R_S}; \quad L_P = \frac{R_S^2 + \omega^2 L_S^2}{\omega^2 L_S}$$

Cầu đo cuộn dây

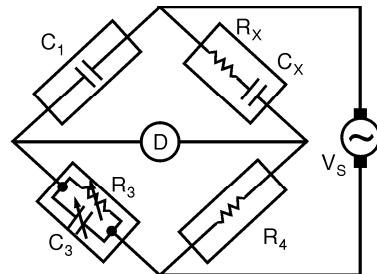
Cầu Owen đo cuộn dây, dùng điện dung mău. Khảo sát mạch hình 4.19, để có điều kiện cân bằng của cầu:

$$R_X = C_1 R_2 \frac{1}{C_3}; \quad L_X = C_1 R_2 R_3$$

Trong cầu này L được đo với độ chính xác khá cao, không dùng điện dung mẫu phụ thuộc vào tụ C_3 , là hộp điện dung có độ chính xác kém hơn hộp điện trở mẫu R_3 , thích hợp với cuộn dây có Q nhỏ ($Q = 2\pi f L_x / R_x$)



Hình 4.19

Cầu Owen đo cuộn dây

Hình 4.20

Cầu Schering đo điện dung

Cầu đo điện dung (H.4.20)

Cầu Schering thường được dùng để đo điện dung và đo tổn hao trong vật cách điện cao cấp. Khi đo điện dung nhỏ, C_1 là điện dung không khí. Khi đo điện dung lớn, C_1 là tụ mica thật tốt để góc mất bằng không.

Điều kiện cân bằng:

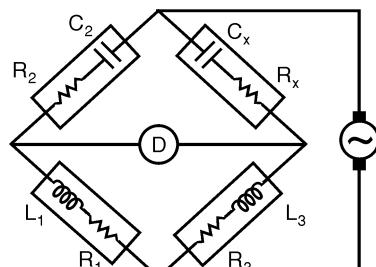
$$R_X = R_4 \frac{C_3}{C_1}; \quad C_X = C_1 \frac{R_3}{R_4}$$

Góc mất: $\operatorname{tg}\delta_X \approx \delta_X = \omega R_3 C_1$. Khi đó sự cách điện tổng trỏ nhánh C_1 và $(C_x + R_x)$ rất lớn so với nhánh 4 và 3 nếu cầu sử dụng điện áp cao.

Cầu Grover (H.4.21)

Tương tự như cầu Sauty nhưng các cuộn dây dùng để so sánh tụ điện cần đo với tụ điện mẫu. Phương trình cân bằng về đối số cho ta:

$$|Z_1 + Z_4| = |Z_2 + Z_3|$$

Hình 4.21: Cầu GROVER đo
nhịp điện dung

Với các tụ điện có góc mất nhở và các cuộn dây có hệ số phẩm chất Q nhở:

$$|Z_1| = tg^{-1} \frac{\omega L_1}{R_1} \approx Q_1; |Z_3| = tg^{-1} \frac{\omega L_3}{R_3} \approx Q_3$$

$$|Z_2| = tg^{-1} \left(-\frac{1}{\omega R_2 C_2} \right) = -\left(\frac{\pi}{2} - \delta_2\right)$$

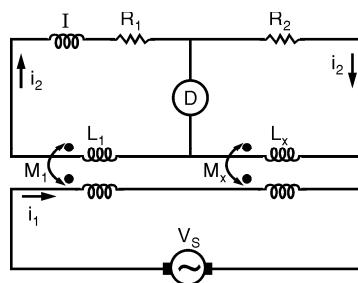
$$|Z_4| = tg^{-1} \left(-\frac{1}{\omega R_X C_X} \right) = \left(\frac{\pi}{2} - \delta_X\right)$$

Từ $\delta_X + Q_1 = \delta_2 + Q_3$. Suy ra: $\delta_X - \delta_2 = Q_3 - Q_1$

Cũng với giả thiết trên ta có thể chứng minh: $C_X/C_2 = R_1/R_3$

4.3 ĐO HỒ CẢM

4.3.1 Cầu Maxwell để đo hồ cảm (H.4.22)



Hình 4.22: Cầu Maxwell đo hệ số hồ cảm M

Khi cầu cân bằng G chỉ điểm “0” ta có:

$$j\omega M_1 i_1 = j(L_1 + l)\omega i_2 + R_1 i_2$$

$$j\omega M_X i_1 = j\omega L_X i_2 + R_2 i_2$$

Chia hai phương trình trên cho nhau, ta có:

$$\frac{M_1}{M_X} = \frac{j\omega (L_1 + l)\omega + R_1}{j\omega L_X + R_2}$$

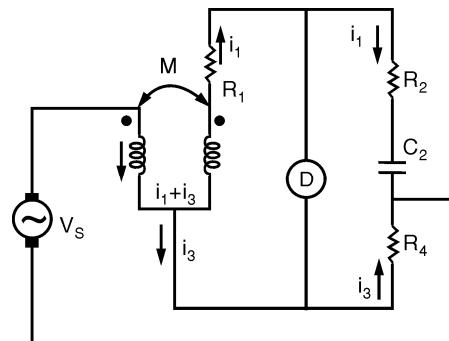
$$M_1(j\omega L_X + R_2) = M_X[j\omega(L_1 + l)\omega + R_1]$$

$$\text{Cân bằng phần thực và phần ảo: } \frac{M_1}{M_X} = \frac{R_1}{R_2} = \frac{l + L_1}{L_X}$$

Trong mạch chúng ta có: M_1 là hồ cảm mẫu (có thể thay đổi được), M_X là hồ cảm muốn đo, l là cuộn dây thêm vào để cân bằng điện cảm trong mạch,

R_1 thường là hộp điện trở.

4.3.2 Cầu Heavyside



Hình 4.23: Cầu Heavyside đo hệ số hő cảm M

Đo hő cảm dùng cuộn dây mău như trên hình 4.23, M là hő cảm cần đo của hai cuộn dây. Cuộn dây thứ cấp có điện cảm là L_2 . Khi cầu cân bằng: G chỉ điểm “0” thì:

$$R_2 i_1 = R_4 i_3 \quad (a)$$

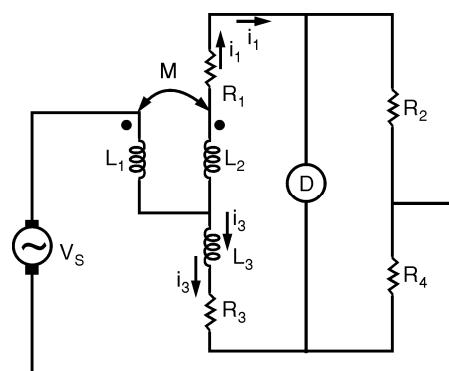
$$(R_3 + jL_3\omega) i_3 = (R_1 + jL_1\omega) i_1 - j\omega M(i_1 + i_3) \quad (b)$$

Chia (a) cho (b), rút gọn, sau đó cân bằng phần thực và phần ảo.

$$\text{Ta có được: } R_1 = \frac{R_2}{R_4} R_3; \quad M = \frac{L_2 R_4 - R_2 L_3}{R_2 + R_4}$$

Từ phương trình trên và theo hình vẽ thì M phải dương cho nên tỉ số của biểu thức tính M có điều kiện như sau: $L_2/L_3 > R_2/R_4$

4.3.3 Cầu Carey Foster cải tiến



Hình 4.24: Cầu Carey Foster cải tiến đo hệ số hő cảm M

Dùng tụ điện mẫu để đo hệ số hồ cảm. Khảo sát mạch hình 4.24. Khi cầu cân bằng có phương trình sau:

$$[R_2 + (\frac{1}{j\omega}C_2)]i_1 = R_4i_3 \quad (1)$$

$$\begin{aligned} j\omega M(i_1 + i_3) &= (R_1 + j\omega L_1)i_1 \\ [R_1 + j\omega(L_1 - M)]i_1 &= j\omega Mi_3 \end{aligned} \quad (2)$$

Chia (2) cho (1) ta được.

$$\frac{R_1 + j\omega(L_1 - M)}{R_2 - j/\omega C_2} = \frac{j\omega M}{R_4}$$

Suy ra: $R_1R_4 + j\omega R_4(L_1 - M) = \frac{M}{C_2} + j\omega MR_2$

Từ đó cân bằng phần thực và ảo ta được:

$$M = R_1R_4C_2; \quad L_1 = R_1(R_4 + R_2)C_2$$

Theo kết quả trị số M phải dương, như vậy cực tính phải mắc đúng như hình 4.24 (khác với cầu Heavyside).

Cũng theo phương trình trên, M phải nhỏ hơn L_1 .

BÀI TẬP

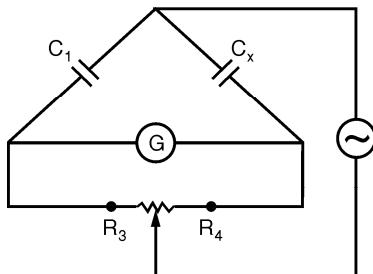
4.1. Cho cầu đo như hình vẽ, biết $C_1 = 0,1\mu F$ và tỉ số R_3/R_4 có thể chỉnh được thay đổi trong khoảng: 100/1 và 1/100. Hãy tính C_x mà cầu có thể đo được.

Giải: Ta có: $C_x = C_1 R_3/R_4$. Với: $R_3/R_4 = 100/1$

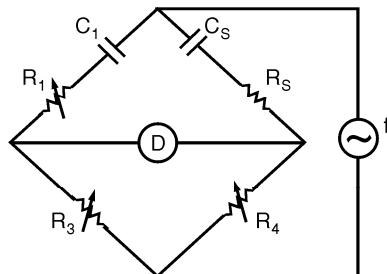
$$\Rightarrow C_x = 0,1\mu F(100/1) = 10\mu F$$

Với: $R_3/R_4 = 1/100 \Rightarrow 0,1\mu F(1/100) = 0,001\mu F$

Vậy cầu đo có tầm đo: từ $0,001\mu F$ đến $10\mu F$.



Hình B.4.1



Hình B.4.2

4.2. Cho cầu đo điện dung như hình B.4.2, thành phần mẫu $C_1 = 0,1\mu F$; $R_3 =$

$10k\Omega$. Biết rằng cầu cân bằng khi nguồn cung cấp có $f = 100Hz$; $R_1 = 125\Omega$ và $R_4 = 14,7k\Omega$. Hãy tính trị giá R_s , C_s và hệ số tổn hao D của tụ?

Giải: Ta có: $C_s = C_1 R_3 / R_4$;

$$C_s = \frac{0,1\mu F \times 10k\Omega}{14,7k\Omega} = 0,068\mu F; R_s = \frac{R_1 R_4}{R_3} = \frac{125\Omega \times 14,7k\Omega}{10k\Omega} = 183,8\Omega$$

$$D = \omega C_s R_s = 2\pi \times 100Hz \times 0,068\mu F \times 183,8\Omega = 0,008$$

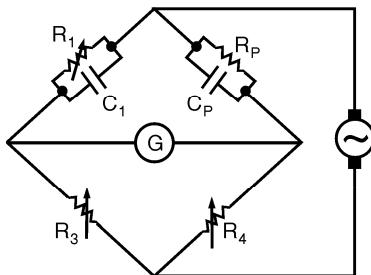
4.3. Cho cầu đo điện dung như hình B.4.3. Biết thành phần mẫu có $C_1 = 0,1\mu F$; $R_3 = 10k\Omega$. Cầu cân bằng khi nguồn cung cấp có $f = 100Hz$; $R_1 = 375\Omega$; $R_3 = 10k\Omega$; và $R_4 = 14,7k\Omega$. Tính trị giá R_p , C_p , và hệ số tổn hao D của tụ.

Giải: Ta có:

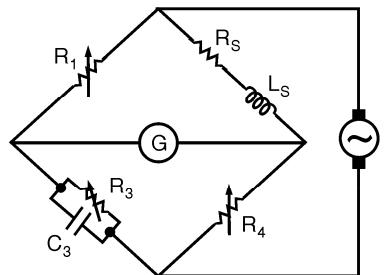
$$C_p = \frac{C_1 R_3}{R_4} = \frac{0,1\mu F \times 10k\Omega}{14,7k\Omega} = 0,068\mu F$$

$$R_p = \frac{R_1 R_4}{R_3} = \frac{375\Omega \times 14,7k\Omega}{10k\Omega} = 551,3\Omega$$

$$D = \frac{1}{\omega C_p R_p} = \frac{1}{2\pi \times 100Hz \times 0,068\mu F \times 551,3\Omega} = 42,5$$



Hình B.4.3



Hình B.4.4

4.4. Cầu Maxwell đo điện cảm dùng thành phần mẫu $C_3 = 0,1\mu F$, nguồn cung cấp có tần số $f = 100Hz$. Cầu cân bằng khi $R_1 = 1,26k\Omega$; $R_3 = 470\Omega$ và $R_4 = 500\Omega$. Tính trị giá điện cảm L_s , điện trở R_s và hệ số phẩm chất Q của cuộn dây.

Giải: Ta có: $L_s = C_3 R_1 R_4 = 0,1\mu F \times 1,26k\Omega \times 500\Omega = 63mH$

$$R_S = \frac{R_1 R_4}{R_3} = \frac{1,26k\Omega \times 500\Omega}{470\Omega} = 1,34k\Omega$$

$$Q = \frac{\omega L S}{R_S} = \frac{2\pi \times 100Hz \times 63mH}{1,34k\Omega} = 0,03$$

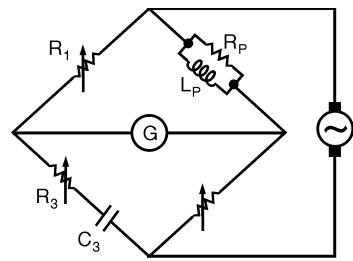
4.5. Cầu Hay có nguồn cung cấp $f = 100Hz$ cân bằng khi $C_3 = 0,1\mu F$, $R_1 = 1,26k\Omega$, $R_3 = 75\Omega$ và $R_4 = 500\Omega$. Tính điện cảm L_p , điện trở R_p và hệ số phasc Q của cuộn dây.

Giải:

$$L_p = C_3 R_1 R_4 = 0,1\mu F \times 1,26k\Omega \times 500\Omega = 63mH$$

$$R_p = \frac{R_1 R_4}{R_3} = \frac{1,26k\Omega \times 500\Omega}{75\Omega} = 8,4k\Omega$$

$$Q = \frac{R_p}{\omega L_p} = \frac{8,4k\Omega}{2\pi \times 100Hz \times 63mH} = 212$$



Hình B.4.5

4.6. Hãy tính thành phần tương đương L_s , R_s của cuộn dây có: $L_p = 63mH$; $R_p = 8,4k\Omega$ ($f = 100Hz$).

Giải: $R_S = \frac{R_p X_p^2}{X_p^2 + R_p^2}$; thế: $R_p = 8,4k\Omega$; $R_p^2 = 7,056 \times 10^7$; $X_p = \omega L_p$

$$\Rightarrow X_p = 2\pi \times 100Hz \times 63mH = 39,6\Omega$$

$$X_p^2 = 1,57 \times 10^3; \quad X_p^2 + R_p^2 = 7,056 \times 10^7$$

$$R_S = \frac{8,4k\Omega \times 1,57 \times 10^3}{7,056 \times 10^7} = 0,187\Omega; \quad X_S = \frac{7,056 \times 10^7 \times 39,6}{7,056 \times 10^7} = 39,6\Omega$$

$$L_s = \frac{X_S}{\omega} = \frac{39,6\Omega}{2\pi \times 100Hz} = 63mH$$

4.7. Hãy tính thành phần tương đương C_p , R_p của tụ điện có $R_s = 183,8\Omega$ và $C_s = 0,068\mu F$ ($f = 100Hz$).

Giải: $R_p = (R_s^2 + X_S^2)/R_s$; $R_s^2 = (183,8)^2 = 33,782 \times 10^3$

$$X_S = 1/2\pi f C_s = 1/(2\pi \times 100Hz \times 0,068\mu F) = 23,405 \times 10^3 \Omega$$

$$X_S^2 = 5,478 \times 10^8$$

$$R_p = (33,78 \times 10^3 + 5,478 \times 10^8)/183 = 2,99M\Omega$$

$$X_P = \frac{R_S^2 + X_S^2}{X_S} = \frac{33,78 \times 10^3 + 5,478 \times 10^8}{23,405 \times 10^3} = 23,41 \times 10^3 \Omega$$

$$C_P = 1/(2\pi \times 100Hz \times 23,41k\Omega) = 0,068\mu F$$

4.8. Hãy vẽ cầu tổng quát. Viết phương trình khi cầu cân bằng.

4.9. Hãy liệt kê và so sánh các thiết bị chỉ “0” khác nhau dùng với cầu AC.

4.10. Hãy vẽ mạch cầu đơn giản đo điện dung. Viết phương trình cân bằng của cầu.

4.11. Cho cầu đơn giản đo điện dung có điện dung mẫu $C = 0,1\mu F$ và hai điện trở mẫu có trị giá thay đổi từ $1k\Omega$ đến $200k\Omega$. Hãy tính trị giá điện dung nhỏ nhất và lớn nhất mà cầu có thể đo được.

4.12. Hãy vẽ các thành phần nối tiếp C_s, R_s . Thành phần song song C_p, R_p của tụ điện. Tìm biểu thức liên hệ của chúng với nhau. Hãy cho biết thành phần tương đương nào thích hợp trong hai trường hợp:

a) Tụ điện có điện trở điện môi lớn.

b) Tụ điện có điện trở điện môi nhỏ.

4.13. Hãy cho biết trị giá hệ số tổn hao D của tụ điện trong hai trường hợp:

a) Tụ điện có mạch tương đương dạng nối tiếp.

b) Tụ điện có mạch tương đương dạng song song.

4.14. Hãy vẽ các thành phần nối tiếp L_s, R_s , thành phần song song L_p, R_p của cuộn dây. Tìm biểu thức liên hệ của chúng với nhau. Hãy cho biết thành phần tương đương nào thích hợp trong hai trường hợp:

a) Cuộn dây có điện trở lớn

b) Cuộn dây có điện trở bé.

4.15. Hãy cho biết trị giá hệ số phẩm chất Q của cuộn dây trong hai trường hợp:

a) Cuộn dây có mạch tương đương dạng nối tiếp

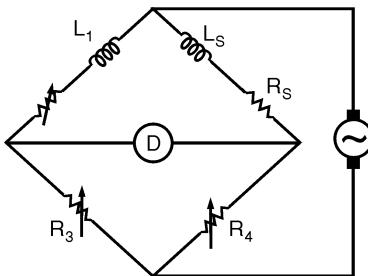
b) Cuộn dây có mạch tương đương dạng song song.

4.16. Cầu đo điện dạng điện trở nối tiếp, có điện dung mẫu $C_I = 0,1\mu F$. Nguồn cung cấp có $f = 1kHz$, cầu cân bằng khi $R_I = 109,5\Omega$, $R_3 = 1k\Omega$ và $R_4 = 2,1k\Omega$. Hãy tính các thành phần C_s, R_s, D của tụ điện.

4.17. Cầu đo điện dung dạng điện trở song song, có điện dung mẫu $C_I = 0,1\mu F$, nguồn cung cấp có $f = 1kHz$, cầu cân bằng khi $R_I = 547\Omega$; $R_3 = 1k\Omega$

và $R_4 = 666\Omega$. Hãy tính các thành phần C_p , R_p , D của tụ điện.

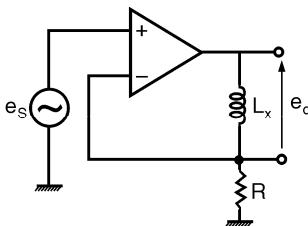
4.18. Cho cầu đo điện cảm như hình B.4.18. Biết rằng cầu cân bằng khi: $L_I = 100\mu H$; $R_4 = 10k\Omega$; $R_I = 37,1\Omega$; $R_3 = 27,93k\Omega$; $f = 1MHz$. Hãy tính L_S , R_S , Q của cuộn dây.



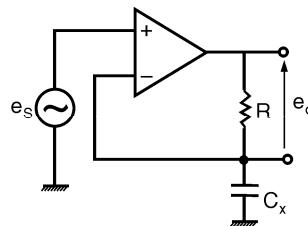
Hình B.4.18

4.19. Cho mạch đo hình B.4.19.

Xác định e_o theo e_s , L_x , R .



Hình B.4.19



Hình B.4.20

4.20. Cho mạch đo hình B.4.20.

Xác định e_o theo e_s , L_x , R .

4.21. Hãy vẽ cầu Maxwell đo điện cảm của cuộn dây, và viết phương trình tính toán L_S , R_S , Q của cuộn dây khi cầu cân bằng.

4.22. Một cuộn dây có $L_S = 100mH$; $Q = 21$, khi $f = 1kHz$ được đo bởi cầu Maxwell. Cầu dùng điện dung mẫu $0,1\mu F$ và điện trở mẫu $R_I = 1k\Omega$. Hãy tính trị giá R_3 và R_4 để cầu cân bằng.

4.23. Cầu Maxwell đo điện cảm, có tụ mẫu $C_I = 0,1 \mu F$, nguồn cung cấp $f = 10kHz$; $R_I = 100\Omega$; R_3 và R_4 có thể thay đổi từ $100\Omega \div 1k\Omega$. Hãy tính trị giá L_S và Q của cuộn dây mà cầu có thể đo được.

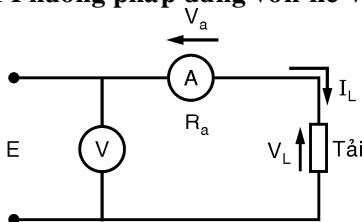
Chương 5

ĐO CÔNG SUẤT VÀ ĐIỆN NĂNG

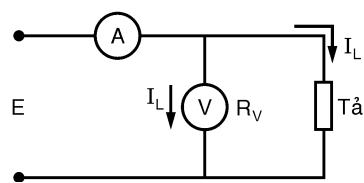
5.1 ĐO CÔNG SUẤT MỘT CHIỀU

Trong phương pháp đo công suất một chiều, chúng ta có hai phương pháp: trực tiếp và gián tiếp. Phương pháp gián tiếp dùng vôn-kế và ampe-kế, phương pháp trực tiếp dùng watt-kế cơ cấu điện động hoặc sắt điện động.

5.1.1 Phương pháp dùng vôn-kế và ampe-kế



Hình 5.1: Mắc vôn-kế và ampe-kế đo công suất



Hình 5.2: Đo công suất bằng vôn-kế và ampe-kế

Phương pháp này cho phép mắc vôn-kế và ampe-kế như hình 5.1.

Vôn-kế cho biết: $V = V_a + V_L$.

V_a : điện áp rơi trên vôn-kế. Dòng điện I_L cho bởi vôn-kế.

Vậy công suất của tải: $P_L = I_L V_L = I_L(V - V_a) = VI_L - R_a I_L^2$

Ta thấy trị số công suất P_L được đo bởi vôn-kế và ampe-kế có sai số do điện trở nội của ampe-kế. Theo cách mắc hình 5.2, trị số công suất của tải được xác định bởi vôn-kế và ampe-kế. V cho bởi vôn-kế, còn ampe-kế cho trị số I và: $I = I_V + I_L$.

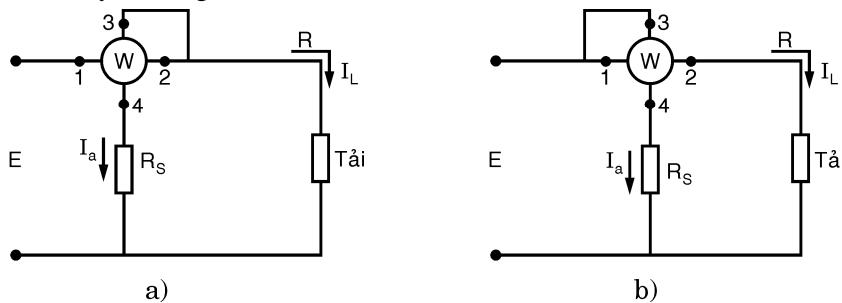
do đó:

$$I_L = I - I_V; P_L = V(I - I_L) = VI - VI_L$$

Như vậy sai số cách mắc này phụ thuộc dòng điện I_V qua vôn-kế. Nếu I_V càng nhỏ thì đo càng chính xác.

5.1.2 Phương pháp đo dùng watt-kế

Watt-kế được mắc theo hình 5.3, hai đầu 1, 2 của watt-kế là cuộn dòng điện (cuộn dây cố định), hai đầu 3, 4 là cuộn điện áp (cuộn dây di động). Như vậy dòng qua tải I_L đi qua cuộn dòng, còn điện áp V_L tỉ lệ với dòng điện I_2 đi qua cuộn dây di động.



Hình 5.3: Đo công suất bằng watt-kế

a) Cuộn điện áp mắc sau; b) Cuộn điện áp mắc trước

Chỉ thi của cơ cấu điện động được xác định như sau:

$$\alpha = kI_L I_q \text{ mà } I_q = E/(R_S + R_2)$$

với R_2 là điện trở của cuộn dây điện áp

$$\text{Suy ra: } \alpha = kI_L E / (R_S + R_2).$$

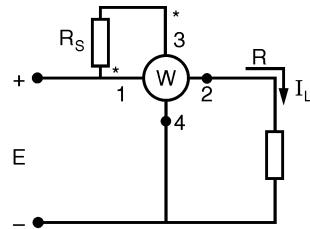
Vậy α phụ thuộc vào công suất của tải $P_L = I_L V_L$.

Theo cách mắc mạch này nếu điện trở nội của cuộn dây dòng điện càng nhỏ, kết quả đo càng chính xác. Điện trở R_S là điện trở hạn chế dòng điện qua cuộn dây di động của watt-kế. Nếu điện áp vào tải càng lớn thì R_S càng lớn.

Do chiều quay của kim chỉ thị được xác định theo một chiều đã định sẵn, nên trong trường hợp watt-kế quay ngược thì hoán đổi hai đầu 1, 2 của cuộn cố định. Có một số watt-kế định sẵn đầu cùng cực tính của hai cuộn dây, ta chỉ việc măc hai đầu đã định sẵn. Trong cách măc watt-kế chúng ta lưu ý những điểm sau đây:

Điểm chung của cuộn dòng và cuộn điện áp là có thể mắc trước watt-kế (H.5.3a) hoặc mắc sau watt-kế (H.5.3b). Trong cách mắc này có sai số gây ra do dòng điện đi qua cuộn điện áp, sai số này càng giảm khi điện trở cuộn áp và R_S càng lớn so với R_L (điện trở tải).

□ Điện trở R_S không được mắc như hình 5.4. Khi đó điện hai đầu cuối (đầu 2 và đầu 4) gần bằng điện áp của nguồn. Do vậy nó có khả năng gây nguy hiểm cho sự cách điện của cuộn dây gần nhau, hơn nữa sai số phụ tăng lên do ảnh hưởng tĩnh điện lẫn nhau của hai cuộn dây của watt-kế.



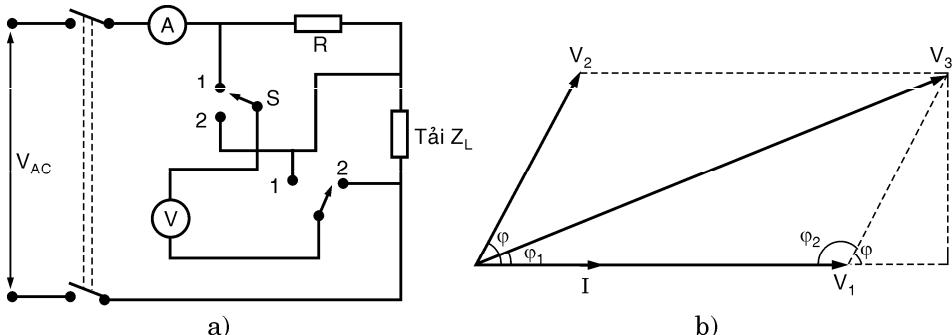
Hình 5.4: Ñieän trôú R_S maéc sai ôú watt-keá

5.2 ĐO CÔNG SUẤT XOAY CHIỀU MỘT PHA

5.2.1 Dùng vôn-kế và ampe-kế

Mạch đo được mắc như hình 5.5a. Trong trường hợp chỉ có một vôn-kế xoay chiều thì phải dùng hai khóa đổi vị trí, S và S'. Còn nếu có ba vôn-kế thì được mắc ở hai đầu R , Z_L và $R + Z_L$.

□ Khóa S và S' ở vị trí 1 và 1' vôn-kế cho trị số V_1 , điện áp này cùng pha với dòng điện. Khi khóa S, S' ở vị trí 2, 2' vôn-kế chỉ thị V_2 , điện áp này lệch pha với dòng điện qua tải một góc là φ . Khi khóa S, S' ở vị trí 1 và 2' vôn-kế chỉ thị V_3 , góc lệch pha so với dòng điện là φ_1 . Theo giản đồ vectơ hình 5.5b.



Hình 5.5: a) Mạch đo công suất tải xoay chiều
b) Giản đồ vectơ điện áp và dòng điện

$$V_2^2 = V_3^2 + V_1^2 - 2V_1V_3 \cos \varphi_1; \cos \varphi_1 = \frac{V_3^2 + V_1^2 - V_2^2}{2V_1V_3}$$

trong khi đó: $V_2 \cos \varphi = V_3 \cos \varphi_1 - V_1$; $\cos \varphi = \frac{V_3 \cos \varphi - V_1}{V_2}$

hoặc: $V_3^2 = V_1^2 + V_2^2 - 2V_1V_2 \cos \varphi_2$

$$\cos \varphi_2 = \cos(\pi - \varphi) = -\cos \varphi = -\frac{V_3^2 - V_1^2 - V_2^2}{2V_1 V_2}$$

như vậy công suất của tải: $P_L = V_2 I \cos \varphi$

hoặc: $P_L = V_2 I [V_3 \frac{(V_3^2 + V_1^2 - V_2^2) - 2V_1^2}{2V_1 V_3}] = I [\frac{V_3^2 - V_2^2 - V_1^2}{2V_1}]$

5.2.2 Dùng watt-kế điện động

Tín hiệu vào tải V có điện áp xoay chiều: $V = V_m \sin \omega t$

và dòng điện có dạng: $i = I_m \sin(\omega t + \varphi)$

Như vậy dòng điện đi qua cuộn điện áp của watt-kế điện động.

$$i_V = \frac{V_m \sin(\omega t + \varphi_V)}{Z_V} = I_V \sin(\omega t + \varphi_V)$$

Z_V là tổng trő của cuộn điện áp và điện trő măc nối tiếp với cuộn điện áp; φ_V là góc lêch pha điện áp và dòng điện qua cuộn điện áp.

Do đó góc lêch α của kim chỉ thị cơ cấu điện động do mômen quay trung bình, t් lệ với tích số i_V và i: $T_{av} = \frac{1}{T} \int_0^T K_1 i \times i_V dt$

Nghĩa là: $\alpha = K_2 I_m I_V \cos(\varphi - \varphi_V) = K_2 I_m \frac{V_m}{Z_V} \cos(\varphi - \varphi_V) = K_2 I_m I \cos(\varphi - \varphi_V)$

□ Nếu $\varphi_V = 0$ khi $\alpha = K_3 P$, coi như công suất của tải được xác định bởi góc quay của kim chỉ thị của watt-kế.

□ Nếu $\varphi_V \neq 0$, như vậy sẽ có sai số tạo ra do sự lêch pha giữa điện áp V và dòng điện qua cuộn điện áp của watt-kế.

Gọi $P' = VI \cos(\varphi - \varphi_V)$, ta sẽ có sai số tương đối γ_P .

$$\gamma_P = \frac{P' - P}{P} = \frac{VI \cos(\varphi - \varphi_V) - VI \cos \varphi}{VI \cos \varphi}$$

$$\gamma_P (\%) = \frac{P' - P}{P} \times 100\% = \frac{\cos(\varphi - \varphi_V) - \cos \varphi}{\cos \varphi} \times 100\%$$

Nếu φ_V nhỏ thì: $\gamma_P (\%) = (1 + \varphi_V \operatorname{tg} \varphi - 1) \times 100\%$, $\gamma_P (\%) = \varphi_V \operatorname{tg} \varphi \times 100\%$

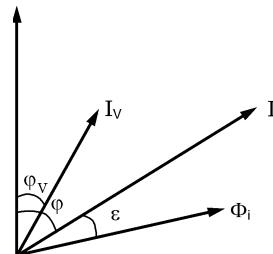
Để thuận lợi cho việc sử dụng đo công suất của tải có dòng và áp thay đổi, thông thường cuộn dòng điện được chia ra làm hai cấp tương ứng với tầm

dòng điện sử dụng, bằng cách thay đổi số vòng dây (giống như cơ cấu điện từ). Còn để thay đổi tầm đo điện áp, bằng cách dùng những điện trở nối tiếp với cuộn điện áp (giống như thay đổi tầm đo điện áp của cơ cấu điện từ). Đặc điểm của watt-kế là kết quả đọc được phụ thuộc vào tần số của nguồn điện, do ảnh hưởng của kháng trở của cuộn dây điện áp có sự dời pha giữa điện áp và dòng điện.

Ưu điểm của watt-kế điện động: có độ chính xác cao (cấp chính xác = 0,5; 0,2; 0,1%) dùng tiện lợi cho nguồn DC và AC ở tần số 45–60Hz – 500Hz.

Khuyết điểm: Từ trường yếu, mômen quay nhỏ dễ bị ảnh hưởng bởi từ trường nhiễu và không chịu đựng được sự quá tải, giá thành cao.

Để làm tăng mômen quay, giảm bớt từ trường nhiễu người ta dùng cơ cấu sắt điện động, khi đó chúng ta có cơ cấu watt-kế sắt điện động. Tuy nhiên, cơ cấu sắt điện động này tạo nên những sai số phụ thuộc do tính phi tuyến của đường cong từ hóa, dòng điện xoáy và tính trễ. Sự hao giảm trong lõi sắt tạo ra từ thông do dòng điện qua cuộn dòng Φ_I , trễ pha với dòng điện một góc ε (xem giản đồ hình 5.6). Do đó kim chỉ thị của watt-kế lệch một góc α được xác định:



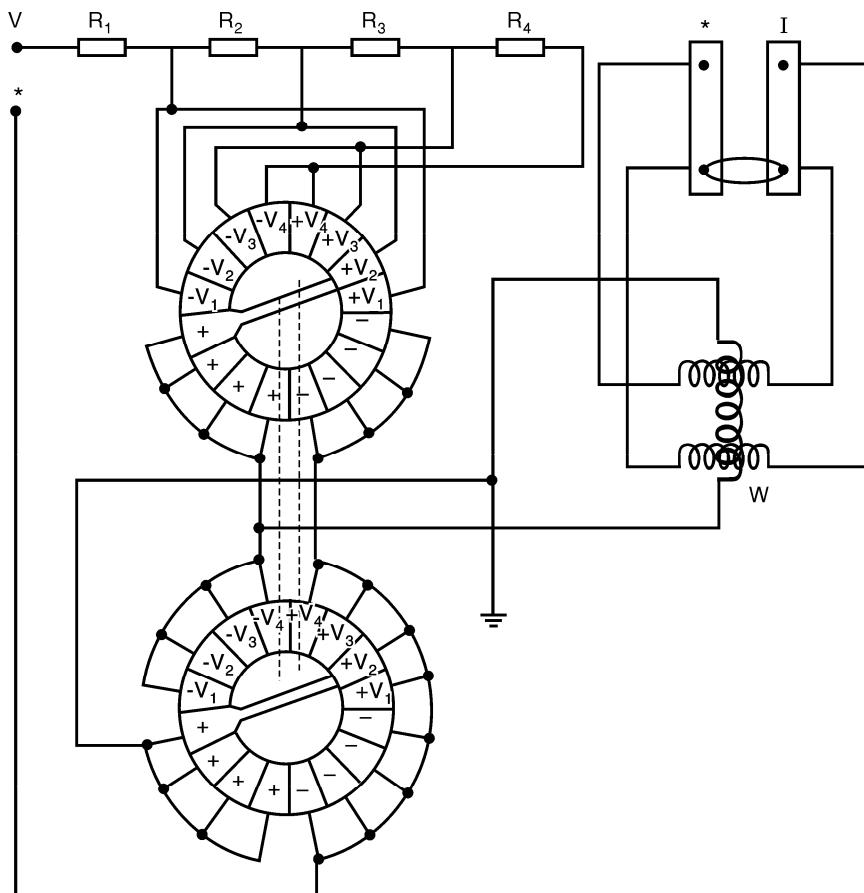
Hình 5.6: Giai đoạn矢量圖 cho cơ cấu watt-kế sắt

$$\alpha = K_2 I_m (V_m / Z_V) \cos(\varphi + \varepsilon - \varphi_V)$$

$$\alpha = K_3 IV \cos(\varphi + \varepsilon - \varphi_V)$$

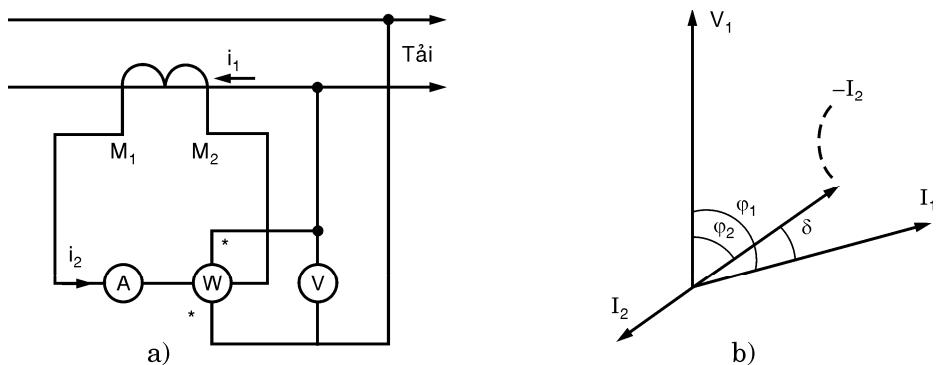
$$\text{Nếu } \varepsilon = \varphi_V \text{ thì } \alpha = K_3 IV \cos \varphi$$

Như vậy, sai số do góc lệch pha giữa điện áp và dòng điện qua cuộn điện áp bằng không. Trong trường hợp ε tương đối lớn, để làm tăng sự lệch pha φ_V ta dùng điện trở nối tiếp từng phần, hoặc hoàn toàn với các cuộn dây (quấn như xoắn chì), theo như cách măc của watt-kế sắt điện động của Nga D539 (H.5.7). Sai số do dòng điện xoáy và từ trễ, làm giảm độ chính xác của watt-kế. Để tăng độ chính xác nên dùng mạch từ *Permaloy*.



Hình 5.7: Cách măc mạch của watt-kế điện động D539 (Nga)

5.2.3 Dùng biến dòng với watt-kế



Hình 5.8: a) Cách măc biến dòng của watt-kế
b) Giản đồ vectơ điện áp và dòng điện

Trường hợp công suất của tải có điện áp thấp, khi đo dòng tải có trị số lớn, cần phải dùng biến dòng để cho dòng điện đi qua cuộn dòng không được quá giới hạn của watt-kế, cuộn sơ cấp của biến dòng xem như được nối với tải, còn dòng thứ cấp của biến dòng được nối với cuộn dòng của watt-kế theo cách mắc hình 5.8a.

V_I : điện áp của tải; i_I : dòng điện tải; i_2 : dòng điện của thứ cấp biến dòng.

Khi đó công suất cho bởi watt-kế: $P_2 = I_2 V_I \cos \varphi_2$

$$P_I = I_2 k_{nom} V_I \cos(\varphi_I - \delta)$$

k_{nom} : tỉ số danh định của biến dòng.

Trong thực tế góc δ nhỏ: $\varphi_I - \delta \approx \varphi_I$; $I_2 k_{nom} \approx I_I$

Do đó có thể viết: $P_I = I_I V_I \cos \varphi_I = P_{kno}$

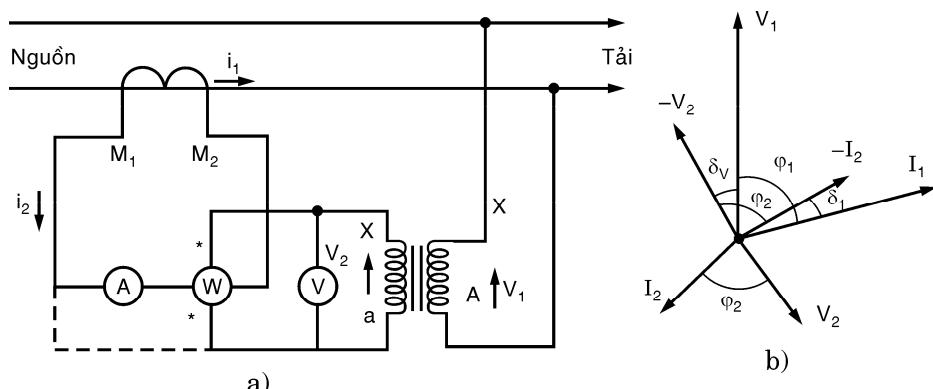
Như vậy, công suất của tải được xác định bằng cách nhân trị số đọc được của watt-kế với tỉ số biến dòng. Tuy nhiên sai số của kết quả đo, phụ thuộc sai số của biến dòng, góc lệch pha của dòng sơ cấp và thứ cấp của biến dòng. Do đó công suất của tải được xác định:

$$P' = I_I V_I \cos(\varphi - \delta). \text{ Và sai số được xác định:}$$

$$\gamma_P = \frac{P' - P}{P} = \frac{I_I V_I \cos(\varphi_I - \delta) - I_I V_I \cos \varphi_I}{I_I V_I \cos \varphi_I} = \frac{\cos(\varphi_I - \delta) - \cos \varphi_I}{\cos \varphi_I}$$

$$\text{Hoặc: } \gamma_P \% = [\frac{\cos(\varphi_I - \delta)}{\cos \varphi} - 1] \times 100\%$$

5.2.4 Dùng biến dòng và biến áp phối hợp với watt-kế



Hình 5.9: a) Cách mắc watt-kế với biến dòng và biến áp

b) Giải độ vectơ của dòng và điện áp

Trong trường hợp tải có điện áp cao và dòng điện lớn, chúng ta phải phối hợp biến áp, biến dòng và watt-kế để đo công suất cho tải (H.5.9)

Cuộn điện áp của watt-kế được mắc ở hai đầu cuộn thứ cấp của biến áp, một đầu của cuộn thứ cấp và vỏ của biến áp được nối với đất. Như vậy công suất đo bằng watt-kế được diễn tả: $P_W = I_2 V_2 \cos \varphi_2$

Nhân với tỉ số của biến áp và biến dòng chúng ta được công suất của tải: $P'_L = i_2 k_I v_2 k_V \cos(\varphi_I + \delta_V - \delta_l)$

Nếu như góc lệch δ_l và δ_V rất nhỏ khi đó có thể đảm bảo:

$$\varphi_I + \delta_V - \delta_l = \varphi_I$$

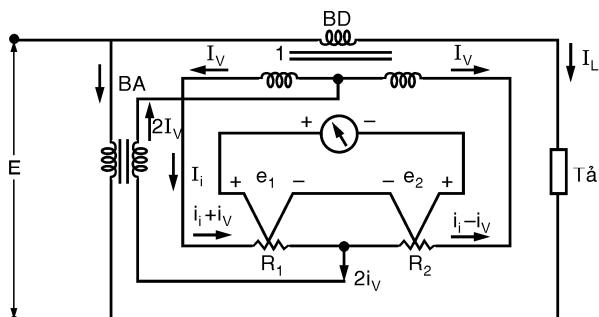
vì: $I_I \approx I_2 K_I$; $V_I = V_2 K_V$. Khi đó: $P_L = P_W K_I K_V = P_I = V_I I_I \cos \varphi_I$

Như vậy công suất của tải, ở phần sơ cấp của biến áp và biến dòng được định bằng trị số đọc bởi watt-kế nhân với tỉ số biến áp và biến dòng. Kết quả đo có sai số do tỉ số biến áp, biến dòng và góc lệch pha do cuộn dòng và cuộn áp của watt-kế.

5.2.5 Đo công suất hiệu dụng của tải bằng bộ biến đổi nhiệt - điện (cặp nhiệt điện)

Do bộ biến đổi nhiệt điện (cặp nhiệt điện) có ưu điểm hoạt động với tín hiệu có tần số cao và dạng bất kỳ, cho nên nó được ứng dụng trong watt-kế đo công suất hiệu dụng của tải hoạt động với tín hiệu dạng không sin, tần số bất kỳ.

Mạch đo nguyên lý watt-kế bằng bộ biến đổi nhiệt điện được diễn tả ở hình 5.9c. Vì bộ biến đổi nhiệt điện không thể hoạt động với điện áp và dòng điện có trị số lớn nên chúng ta phải sử dụng biến dòng và biến áp.



Hình 5.9c: Mạch đo watt-kế dùng cặp nhiệt điện
(BA: biến áp; BD: biến dòng)

Theo mạch điện dòng i_l của phần thứ cấp biến dòng: $i_l = K_I I_L$

Và dòng i_V của dòng thứ cấp biến áp: $i_V = K_V E$

với K_I : tỉ số biến dòng; K_V : phụ thuộc vào tỉ số biến áp và điện trở R_1, R_2 của bộ biến đổi nhiệt điện.

Giả sử tại thời điểm t dòng điện i_V và i_l có chiều dẫn như trong mạch đo. Như vậy, dòng điện $i_V + i_l$ đốt nóng dây điện trở R_1 của bộ biến đổi TC_1 sẽ tạo ra sức điện động nhiệt điện $e_1(DC)$.

Tương tự dòng điện $i_V - i_l$ đốt nóng dây điện trở R_2 của bộ biến đổi TC_2 , cũng tạo ra sức điện động nhiệt điện $e_2(DC)$. Do e_1 và e_2 phụ thuộc trị hiệu dụng của dòng điện $i_V + i_l$ và $i_V - i_l$. Cho nên:

$$e_1 \text{ tỉ lệ } (I_L + E)^2 = I_L^2 + E^2 + 2I_L E$$

$$\text{và: } e_2 \text{ tỉ lệ } (I_L - E)^2 = I_L^2 + E^2 - 2I_L E$$

Vậy biến áp ra của hai bộ biến đổi nhiệt điện: $e_o = e_1 - e_2$

$$e_o \text{ tỉ lệ } I_L^2 + E^2 + 2I_L E - (I_L^2 + E^2 - 2I_L E) = 4EI_L$$

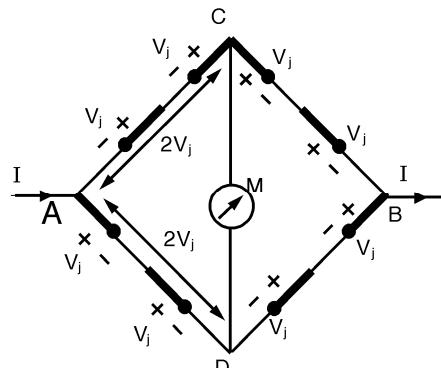
Nghĩa là điện áp của hai bộ biến đổi nhiệt điện (thường có đặc tính nhiệt điện giống nhau và $R_1 = R_2 = R$), phụ thuộc vào công suất của tải. Trường hợp E và I của tải có sự lệch pha một góc ρ , thì điện áp ra của bộ biến đổi nhiệt điện phụ thuộc $(I_L + Ecosp\rho)^2$ và $(I_L - Ecosp\rho)^2$. Như vậy điện áp ra $e_1 - e_2$ phụ thuộc vào $EIcos\rho$.

Trong thực tế loại watt-kế dùng cặp nhiệt điện dạng cầu (H.5.9d), thay thế cho bộ biến đổi nhiệt điện kiểu trước. Nghĩa là trong kiểu cầu dùng cặp nhiệt điện, dòng điện đi qua cặp nhiệt điện đốt nóng trực tiếp *đầu nối* (junction) của cặp nhiệt điện.

Ví dụ: Cầu cặp nhiệt điện trên hình 5.9d, ở mỗi nhánh cầu có hai bộ cặp nhiệt điện. Khi có dòng điện I đi qua các cặp nhiệt điện sẽ tạo ra tại mỗi cặp nhiệt điện $V_j = 6mV$. Điện áp ra giữa C và D:

$$V_{BD} = 4 \times V_j = 4 \times 6 mV = 24 mV$$

và dòng điện I đốt nóng cặp nhiệt



Hình 5.9d: Cầu nhieät ñieän
coù doøng ñieän ñoát tröic tieáp

điện mà không đi qua mili vôn-kế đặt ở C và D của cầu cặp nhiệt điện.

Ưu điểm của cầu *cặp nhiệt điện* là sức điện động cặp nhiệt điện ở ngõ ra được tăng lên, dòng điện đo đi qua trực tiếp, cặp nhiệt điện có dòng đi qua không sợ quá tải như loại bộ biến đổi nhiệt điện có điện trở đốt nóng riêng. Loại này rất dễ hỏng dây điện trở khi quá tải 50% dòng điện cho phép.

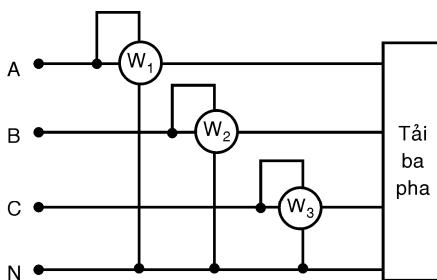
5.3 ĐO CÔNG SUẤT TẢI BA PHA

5.3.1 Đo công suất mạch điện bốn dây

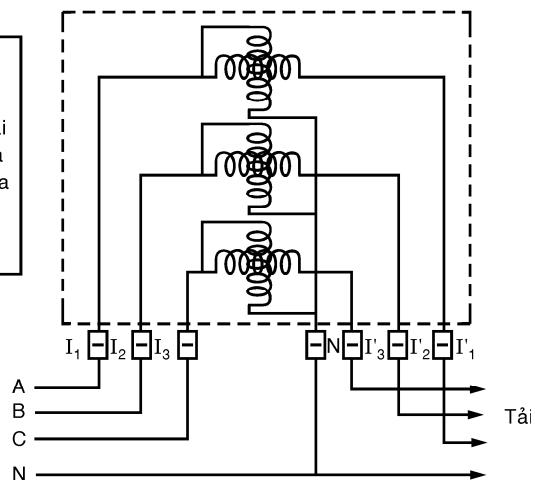
Trong trường hợp hệ thống điện bốn dây (ba dây pha một dây trung tính). Nếu dùng ba watt-kế một pha mắc như hình 5.10, công suất của tải:

$$P_C = P_1 + P_2 + P_3 = V_A I_A \cos \varphi_A + V_B I_B \cos \varphi_B + V_C I_C \cos \varphi_C$$

Kết quả đo là tổng số của trị số cho bởi ba watt-kế một pha. watt-kế ba pha ba phần tử cấu tạo như sau: Hình 5.11 có ba cuộn dòng và ba cuộn áp (ba cuộn di động) có cùng trục quay. Như vậy kim chỉ thị số cho kết quả công suất của tải.



Hình 5.10: Ý đồ đo công suất
của tải ba pha bốn dây



Hình 5.11: Watt-kế ba pha ba phần tử

5.3.2 Đo công suất mạch điện ba dây

Trong mạch điện ba dây, cung cấp cho tải chỉ có ba dây pha không có dây trung tính. Nếu dùng watt-kế một pha để đo công suất của tải thì mắc như hình 5.12

P_1 công suất đo được của watt-kế 1.

$$P_1 = V_{AC}I_A \cos(\varphi + 30^\circ)$$

P_2 công suất đo được của watt-kế 2.

$$P_2 = V_{BC}I_B \cos(30^\circ - \varphi)$$

$$\text{Cho nên: } P_1 + P_2 = V_{AC}I_A \cos(\varphi + 30^\circ) + V_{BC}I_B \cos(30^\circ - \varphi)$$

Tải ba pha ba dây

Trong trường hợp tải ba pha cân bằng

$$E_{AC} = E_{BC} = E\sqrt{3} \quad (\text{E điện áp pha}), \text{ và } I_A = I_B = I$$

$$\text{Do đó: } P_1 + P_2 = \sqrt{3}EI[\cos(\varphi + 30^\circ) + \cos(30^\circ - \varphi)]$$

$$= \sqrt{3}EI(2\cos 30^\circ \cos \varphi) = \sqrt{3}EI(2\sqrt{3}/2)\cos \varphi = 3EI\cos \varphi$$

Vậy $P_1 + P_2$ là công suất của tải ba pha cân bằng cho nên chỉ cần biết điện áp và tải một pha.

Trong trường hợp tải ba pha không cân bằng.

$$P_1 = e_{AC}i_A \text{ công suất tức thời của watt-kế 1}$$

$$P_2 = e_{BC}i_B \text{ công suất tức thời của watt-kế 2}$$

$$\text{Mà } i_A + i_B + i_C = 0, \text{ và } e_{AC} = e_{AO} - e_{CO}; e_{BC} = e_{BO} - e_{CO}$$

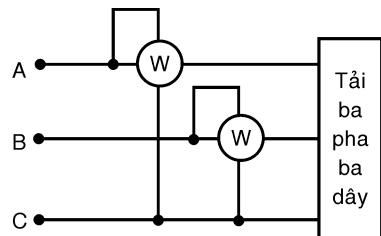
$$\text{Như vậy: } P_1 + P_2 = e_{AO}i_A + e_{BO}i_B + e_{CO}i_C$$

$$\text{Do đó: } P_1 + P_2 = \frac{1}{T} \left[\int_0^T e_{AO}i_A dt + \int_0^T e_{BO}i_B dt + \int_0^T e_{CO}i_C dt \right]$$

Vậy chỉ thị của hai watt-kế là tổng công suất của tải ba pha.

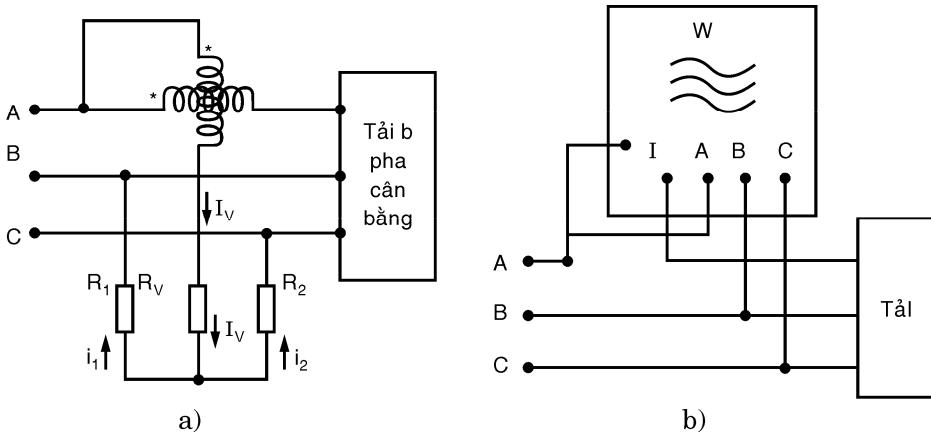
Trong thực tế nếu một trong hai watt-kế nào có kim chỉ thị quay ngược thì khi đó đổi hai đầu của cuộn dòng hoặc cuộn áp. Nhưng kết quả công suất đo được (ví dụ: watt-kế W₂ quay ngược do không mắc đúng thứ tự pha):

$$P = P_1 - P_2$$



Hình 5.12: Maich nho coang suaat tau ba pha ba day

5.3.3 Watt-kế một pha được biến thành watt-kế ba pha đo tải cân bằng không có dây trung tính



Hình 5.13: a) Watt-kế ba pha từ watt-kế một pha đo tải cân bằng
b) Cách mắc dây

Watt-kế một pha được mắc thêm ba điện trở R_V, R_1, R_2 có điểm trung tính giả (H.5.13). Khi tải cân bằng và $R_I = R_V/2 = R$ thì $i_1 = i_2 = i_V/2$

Như vậy: $e_{AC} = i_V R_V + (i_V/2)R, \quad e_{BC} = (i_V/2)R + (i_V/2)R; \quad R_V = R/2$

$$e_{AC} + e_{BC} = i_V(R_V + R/2) + i_V R = 4R_V i_V, \quad i_V = (e_{AC} + e_{BC})/4R_V$$

Watt-kế chỉ thị kết quả đo trị trung bình:

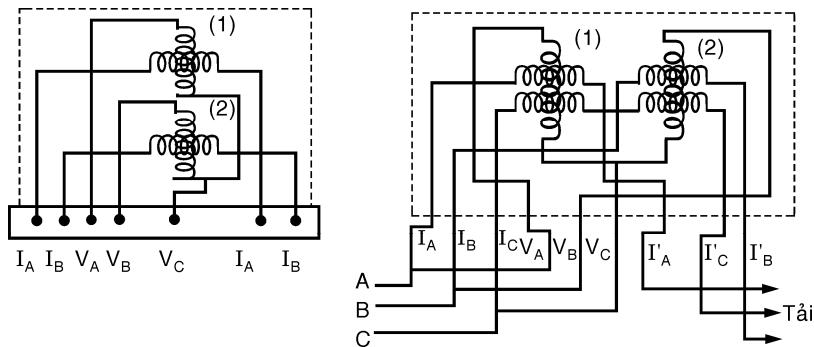
$$\begin{aligned} P &= \frac{1}{T} \int_0^T R_V i_V i_L dt = R_V \frac{1}{T} \int_0^T i_V i_L dt = \frac{1}{4} \frac{1}{T} \int_0^T (e_{AC} + e_{BC}) i_L dt \\ &= \frac{1}{4} [\sqrt{3} EI (\cos(30^\circ + \varphi) + \cos(\varphi - 30^\circ))] = \frac{1}{4} 3EI \cos \varphi \end{aligned}$$

Với EI là trị hiệu dụng của áp và dòng của pha. Vậy công suất của tải ba pha được xác định bằng sự chỉ thị của watt-kế một pha nhân với hằng số tỉ lệ phụ thuộc vào trị số R_V và R_1, R_2

5.3.4 Watt-kế ba pha đo tải ba pha không cân bằng

Watt-kế ba pha hai phần tử

Được cấu tạo gồm có: hai cuộn điện áp (hai cuộn di động) có cùng trục quay và hai cuộn dòng điện (cuộn cố định) (H.5.14a). Phương pháp đo dùng watt-kế này giống như phương pháp đo dùng hai watt-kế một pha đo tải ba pha ba dây. Do đó cách mắc mạch điện cũng giống như trước.



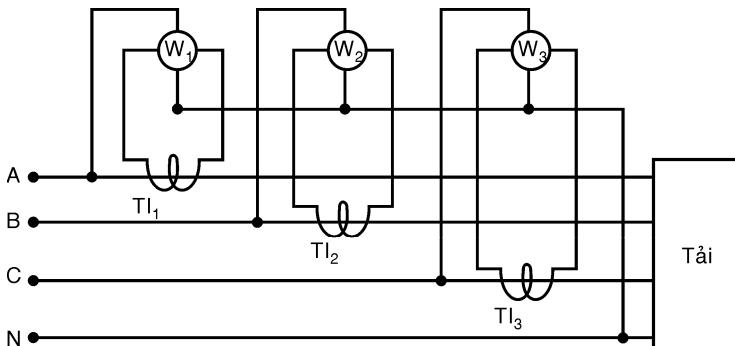
Hình 5.14: a) Watt-kế ba pha hai phần tử
b) Watt-kế hai phần tử rưỡi, cấu tạo và mạch đo

Watt-kế ba pha hai phần tử rưỡi

Loại watt-kế này thường dùng trong công nghiệp. Có cấu tạo như sau:

- ▀ Hai cuộn áp có cùng một trục quay và ba cuộn dòng điện (cuộn dây thứ 3, một nửa ở cuộn áp 1, một nửa cuộn áp 2). Phương pháp đo và cách mắc mạch đo giống như watt-kế ba pha, hai phần tử ở cuộn áp và loại ba phần tử ở phần cuộn dòng (H.5.14b).

5.3.5 Đo công suất ba pha của tải có biến dòng và biến áp

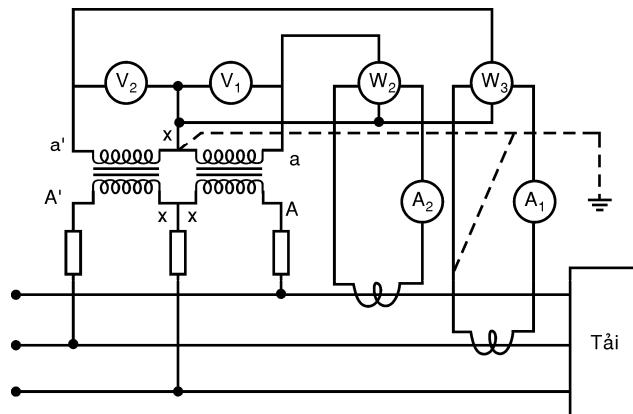


Hình 5.15: Watt-kế kết hợp với biến dòng

Dùng biến dòng: Trong trường hợp tải có dòng điện quá lớn vượt quá trị số dòng điện cho phép của watt-kế. Cần kết hợp đo watt-kế với biến dòng để đo công suất. Mạch được mắc như hình 5.15. Công suất đọc được của watt-kế được nhân với k_I - tỉ số biến dòng, ta sẽ có được công suất của tải:

$$P_I = P_W k_I$$

P_W : công suất đọc được trên watt-kế, k_I : tỉ số biến dòng.



Hình 5.16: Watt-kế kết hợp với biến dòng và biến áp

Dùng biến áp và biến dòng: Trong trường hợp tải có điện áp cao và dòng điện lớn, phải dùng đến biến áp và biến dòng để đo công suất của tải. Khi đó công suất của tải được xác định:

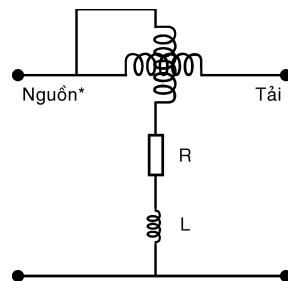
$$P_2 = P_{Wk} k_V; \quad k_V: \text{tỉ số biến áp.}$$

5.4 ĐO CÔNG SUẤT PHẢN KHÁNG CỦA TẢI

5.4.1 Công suất phản kháng của tải một pha

Theo định nghĩa công suất phản kháng của tải:

$$Q = VI \sin \phi = V I \cos(90^\circ - \phi)$$



Hình 5.17: VAR-kế điện động

Nếu dùng watt-kế để đo công suất phản kháng của tải thì dòng điện qua cuộn điện áp và cuộn dòng điện lệch pha thêm một góc 90° . Do đó watt-kế muốn biến thành VAR-kế (đo công suất phản kháng), cuộn điện áp được mắc nối tiếp với điện cảm L (H.5.17). Hoặc có thể dùng watt-kế, vôn-kế và ampe-kế để đo công suất phản kháng với điều kiện:

$$\sin \varphi = \sqrt{1 - \cos^2 \varphi}; \quad \sin \varphi = \sqrt{1 - P^2/(I^2 V^2)}$$

P cho bởi watt-kế; V, I cho bởi vôn-kế và ampe-kế.

5.4.2 Đo công suất phản kháng của tải ba pha

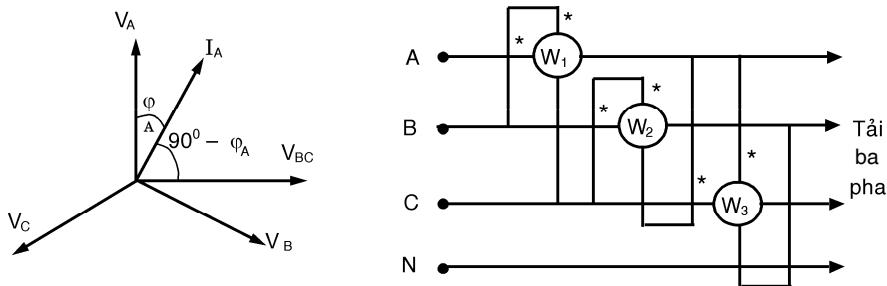
Đo công suất phản kháng trong hệ thống bốn dây

Điện áp dây BC, dây AC, dây AB trễ pha 90° so với điện áp pha A, pha B, pha C tương ứng. Theo cách măc ở hình 5.18, watt-kế W_1 có trị số công suất phản kháng Q_A .

$$P_A = I_A V_{BC} \cos(90^\circ - \varphi) = I_A \sqrt{3} V_A \sin \varphi = \sqrt{3} Q_A$$

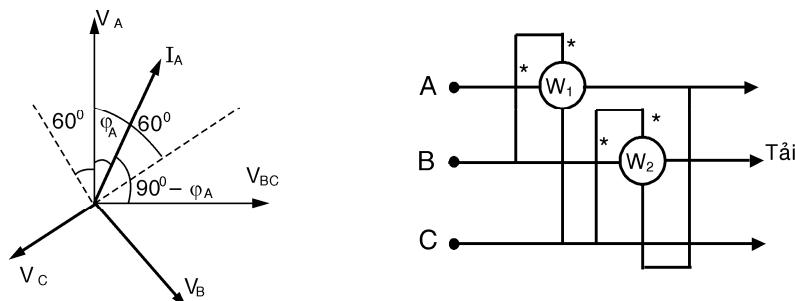
Nghĩa là: $Q_A = P_A / \sqrt{3}$, P_A được đọc trên watt-kế W_1 .

Tương tự như vậy đối với pha A, pha C. Công suất của tải ba pha bằng tổng số kết quả của ba watt-kế chia cho $\sqrt{3}$.



Hình 5.18: Mạch đo công suất phản kháng của tải ba pha
dùng watt-kế một pha

Đo công suất phản kháng trong hệ thống ba dây



Hình 5.19: Mạch đo công suất phản kháng của tải ba pha ba dây

a) *Trường hợp tải cân bằng và điện áp đối xứng:* Mạch điện được mắc như hình 5.19. Chúng ta có thể dùng hai watt-kế một pha hoặc một watt-kế ba pha hai phần tử. Công suất đo bằng hai watt-kế một pha cho:

$$P_W = I_A V_{BC} \cos(90^\circ - \varphi) + I_B V_{CA} \cos(90^\circ - \varphi)$$

Tải cân bằng và điện áp đối xứng cho nên: $V_{BC} = V_{CA}$ và $I_B = I_A$

$$\text{Vì vậy: } P_W = 2I_L V_L \sin \varphi, V_L = \sqrt{3} V_A = \sqrt{3} V_{ph}, P_W = \sqrt{3} \cdot V I_L \sin \varphi$$

Tương tự như trong đo công suất tác động của tải ba pha.

$$P_W = 2\sqrt{3}Q \Rightarrow 2Q = P_W / \sqrt{3}$$

Như vậy muốn biến watt-kế thành VAR-kế thì trên thang đo kết quả đọc phải nhân với hệ số tỉ lệ và đơn vị là VAR (hoặc KVAR).

b) *Trong trường hợp điện áp đối xứng, tải không cân bằng:*

Công suất phản kháng được đo bằng ba watt-kế, ba phần tử được mắc như hình 5.20 khi đó kết quả được chia cho $\sqrt{3}$. Còn nếu cách mắc này mà tải cân bằng, thì kết quả đọc được trên watt-kế một pha được nhân với $\sqrt{3}$ cho kết quả đo phản kháng.

Thật vậy:

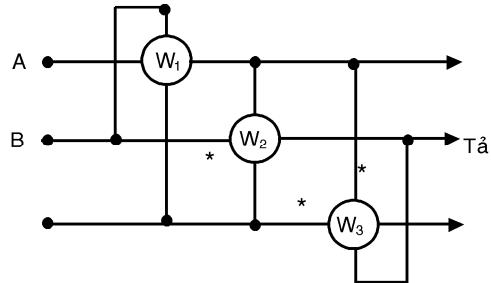
$$\sqrt{3} I_A V_B \sqrt{3} \sin \varphi = \sqrt{3} I_A V_{BC} \cos(90^\circ - \varphi) = \sqrt{3} I_B V_B \sqrt{3} \sin \varphi = 3 I_A V_B \sin \varphi$$

$$P_W \sqrt{3} = 3Q_A, P_W: \text{trị số đọc được trên watt-kế.}$$

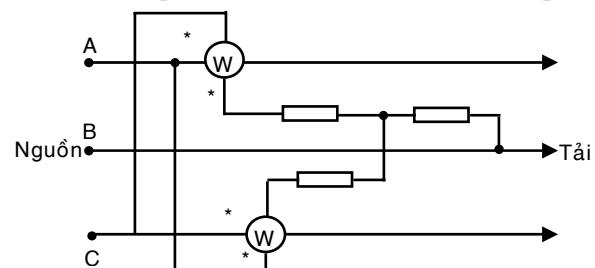
Trong trường hợp dùng watt-kế hai phần tử hoặc hai watt-kế một pha, mạch điện được mắc như hình 5.21

Mạch điện áp của hai watt-kế và các điện trở nối tiếp tạo ra được *mạch sao cân bằng*. Do đó điện áp pha V_C được áp vào mạch thứ nhất và pha A được áp vào mạch 2, đối với pha B.

$$P_W = P_{W1} + P_{W2} = I_A V_{CC} \cos(60^\circ - \varphi) + V_A I_C \cos(120^\circ - \varphi)$$



Hình 5.20: Caùch maéc watt-keá ño coâng suaát phaûn khaùng taûi ba



Hình 5.21: Caùch maéc hai watt-keá moät

$$= I_{ph} V_{ph} \left[0,5 \cos \varphi + (\sqrt{3}/2) \sin \varphi - 0,5 \cos \varphi + (\sqrt{3}/2) \sin \varphi \right]$$

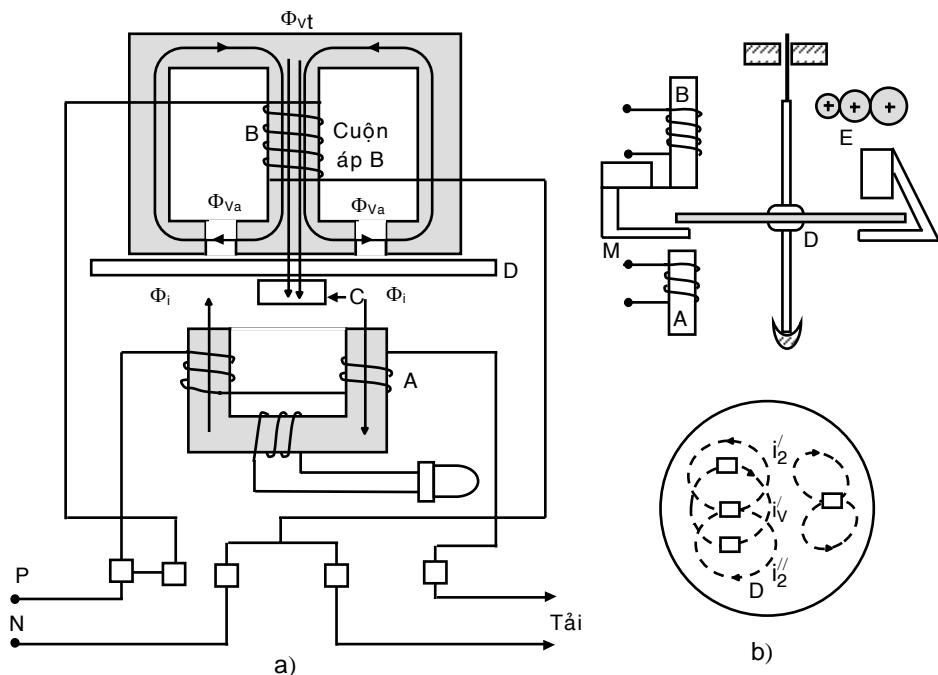
$$P_W = \sqrt{3} I_{ph} V_{ph} \sin \varphi = \sqrt{3} Q_{ph}; P_W \sqrt{3} = 3 Q_{ph}$$

Công suất phản kháng của tải ba pha bằng trị số đọc được của hai watt-kế nhân $\sqrt{3}$ phản kháng của tải ba pha không cân bằng.

5.5 ĐO ĐIỆN NĂNG

5.5.1 Điện năng kế một pha

Điện năng kế có cơ cấu hoạt động trên nguyên tắc cơ cấu cảm ứng điện từ, được cấu tạo như hình 5.22 gồm có một bộ phận điện từ A nối tiếp với tải (cuộn dòng điện quấn trên mạch từ). Mắc song song với tải, cuộn dây quấn trên mạch từ (cuộn áp B). Dĩa nhôm D có mép dĩa nằm trong khe hở của mạch từ cuộn áp và cuộn dòng. Để cho dĩa nhôm quay đều có nam châm đệm M, và bộ cơ học E có bánh răng ăn khớp trực quay của dĩa nhôm D.



Hình 5.22: a) Điện năng kế một pha

b) Sự sắp xếp các phần tử bên trong và cách mắc mạch điện

Suốt trong thời gian hoạt động của điện năng kế, dòng điện I đi qua tải tạo nên từ thông Φ_i trong lõi sắt từ. Điện áp V cung cấp cho tải tạo nên dòng i_V trong cuộn dây điện áp và từ thông Φ_{Va} và Φ_{Vt} trong lõi sắt từ B, Φ_{Vt} và Φ_i xuyên qua đĩa nhôm và tạo ra dòng điện xoáy trên đĩa nhôm i'_2 , i''_2 và i'_V . Do đó có tác dụng tương tác giữa dòng điện xoáy và từ thông tạo nên mômen ngẫu lực quay đĩa nhôm: $T = K_f \Phi_{imax} \Phi_{Vmax} \sin\psi$

Nếu như lõi của cuộn dòng không bị bão hòa, khi đó:

$\Phi_{imax} \alpha I$ và ở tần số f không đổi.

$\Phi_{Vmax} \alpha V$ (α : tỉ lệ)

Kết luận: Trường hợp $\psi = 90^\circ - \varphi$, thì $\sin\psi = \cos\varphi$

Như vậy khi các điều kiện trên thỏa thì mômen quay đĩa.

$$T = K_I V I \cos\varphi = K_I P$$

Vì vậy mômen quay tỉ lệ với công suất cung cấp cho tải.

Do có sự hao giảm từ trong lõi gây ra sự trễ pha từ thông Φ_i đối với dòng điện I một góc α_i (H.5.22c), và có dòng I_V chạy trong cuộn điện áp trễ pha với điện áp V gần bằng 90° . Từ giản đồ vectơ có thể xem góc lệch pha giữa điện áp V và từ thông tác dụng Φ_{Vt} trên đĩa nhôm là: $\beta = \varphi + \alpha_i + \psi$.

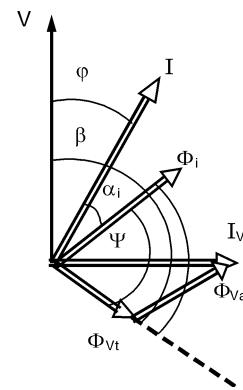
Nếu thay $\psi = 90^\circ - \varphi$, chúng ta có: $\beta = \varphi + \alpha + 90^\circ - \varphi = 90^\circ + \alpha_i$

Từ thông tác dụng Φ_{Vt} xuyên qua đĩa nhôm và cực đối nghịch C được đặt dưới đĩa nhôm. Khiến cho có sự hao giảm lớn

trên đường đi này và đặc biệt trên đĩa nhôm, từ thông tác dụng Φ_{Vt} lệch pha đối với dòng điện I_V lớn hơn từ thông Φ_V và Φ_{Va} . Từ thông Φ_{Va} tạo nên mạch kín đi xuyên tâm và hai bên cực của mạch từ, không ngăn chặn hoạt động của đĩa nhôm.

Góc lệch pha β có thể bằng hoặc lớn hơn $90^\circ + \alpha_i$. Như vậy có thể điều chỉnh góc pha $90^\circ + \alpha_i$ bằng cách thay đổi β hoặc α_i .

Trên mạch từ của cuộn dòng điện có một số vòng được quấn nối với vòng điện trở sẽ làm cho dòng điện cảm ứng phát sinh ra, làm tăng sự hao măt



Hình 5.22c: Giải thích về vectô của nỗ lực nén keá moät pha

từ dọc theo đường đi của từ thông Φ_i . Kết quả là, ảnh hưởng đến trị số góc pha α_i . Do đó, góc α_i được điều chỉnh bằng trị số của vòng điện trở để được mômen quay đĩa nhôm tỉ lệ với công suất của tải.

Ngoài ra trên đĩa nhôm còn ảnh hưởng của từ thông tạo ra nhở nam châm đệm M , Φ_{Br} mômen đệm cho đĩa nhôm: $T_{br} = K_1 I_{ed} \Phi_{Br}$

I_{ed} là dòng điện xoáy chạy trên đĩa nhôm.

$$\text{Mà: } T_{br} = K_1 I_{ed} \Phi_{Br} = K_1 (E_{ed}/R_d) \Phi_{Br} = K_1 (K' \Phi_{br} n/R_d) \Phi_{Br} = K_2 n$$

với K_2 là hệ số tỉ lệ, n số vòng quay của đĩa nhôm

R_d là tổng trở đường đi của dòng điện xoáy

N là số vòng quay của đĩa trong một giây.

Ở từ thông Φ_{Br} cố định thì mômen đệm cho đĩa quay: $T_{br} = K_2 n$

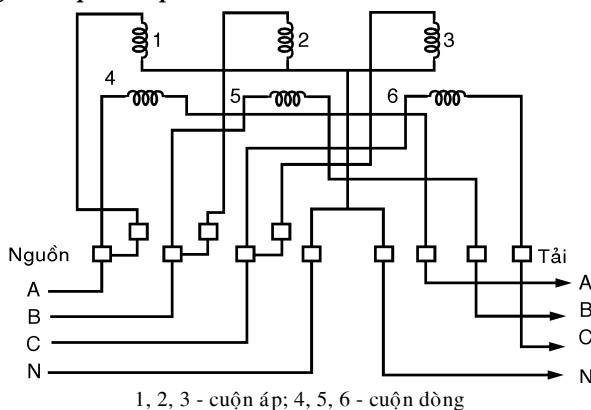
vấn đề thêm mômen quay T_{br} nhằm mục đích cho đĩa nhôm quay đều. Khi ở công suất của tải không đổi, đĩa nhôm quay đều: $T_{br} = T$

Hoặc: $K_2 n = K_1 P$. Suy ra: $P = (K_2/K_1)n$

Vậy điện năng được xác định: $W = P t = K_3 n t$, điện năng tiêu thụ phụ thuộc vào vòng quay của đĩa.

5.5.2 Đo điện năng của tải ba pha

Điện năng kế ba pha ba phần tử



Hình 5.23: Điện năng kế ba pha, ba phần tử dùng cho hệ thống bốn dây

Cách măc điện năng kế ba pha loại này giống như cách măc watt-kế ba pha ba phần tử. Cả ba phần tử này làm quay ba đĩa nhôm có cùng một trục quay, hoặc một đĩa nhôm (thường dùng trong thực tế). Trục quay này được

truyền động sang bộ đếm số trình bày kết quả đo. Cách bố trí các phần tử của điện năng kế như hình 5.23.

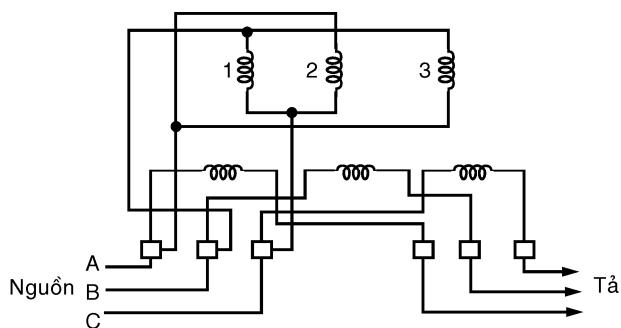
Điện năng kế ba pha hai phần tử

Được cấu tạo như loại ba phần tử nhưng có hai phần tử làm quay hai đĩa nhôm. Cách mắc mạch giống như watt-kế ba pha hai phần tử. Sai số của watt-kế hai phần tử không phụ thuộc vào sự cân bằng pha, điện áp không đổi xứng và theo tuần tự về pha của mạch đo. Thông thường điện năng kế đôi (gồm hai điện năng kế đơn) được dùng thay thế cho điện năng kế hai phần tử.

Khi điện năng kế đôi được sử dụng ở góc lệch pha vượt quá 60° , một trong hai điện năng kế sẽ quay theo chiều ngược lại với mômen quay có giá trị âm, điều này dẫn đến sai số phụ, còn dấu của mômen bổ chính sự ma sát vẫn giữ như cũ ở bất kỳ sự thay đổi chiều quay của đĩa. Do đó kết quả làm tăng sự hâm tốc độ quay của đĩa.

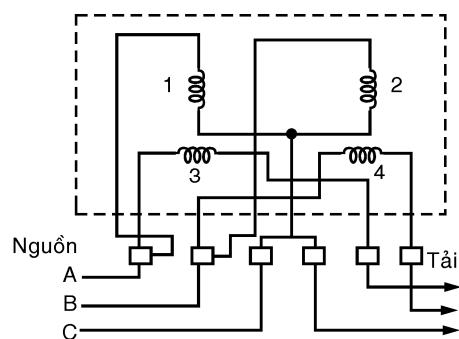
5.5.3 Đo điện năng phản kháng của tải ba pha

Năng lượng phản kháng được đo bởi điện năng kế ba phần tử (VAR-kế giờ) (H.5.25).



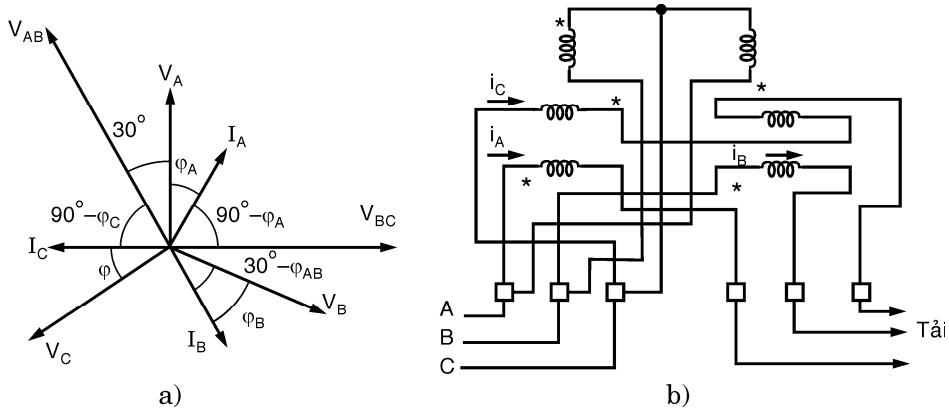
Hình 5.25: Điện năng kế phản kháng ba phần tử

Mạch được mắc như trong VAR kế ở ba pha ba phần tử. Hoặc dùng loại có cuộn phụ nối tiếp như hình 5.26. Đây là loại hai phần tử rưỡi mà mỗi phần tử ở phần cuộn dây cố định có cuộn chính và cuộn phụ có số vòng dây bằng nhau ở điện áp cân xứng mạch được mắc như hình 5.26 và có giản đồ vectơ



Hình 5.24: Caùch maéc ñieän naêng keá hai phaàn töü

như đã trình bày trong hình.



Hình 5.26: a) Điện năng kế phản kháng hai phần tử rưỡi (giản đồ vectơ)

b) Điện năng kế phản kháng hai phần tử rưỡi.

Mômen quay tác dụng trong đĩa nhôm được diễn tả như sau.

$$\begin{aligned} T_1 &= kV_{BC}[I_A(90^\circ - \varphi_A) - I_B\cos(30^\circ - \varphi_B)] \\ &= kV_{BC}I_A \sin \varphi_A - (\sqrt{3}/2)I_B \cos \varphi_B + (1/2)I_B \sin \varphi_B \end{aligned}$$

Mômen quay của phần tử thứ hai.

$$\begin{aligned} T_2 &= kV_{AB}[I_C \cos(90^\circ - \varphi_C) - I_B \cos(150^\circ + \varphi_B)] \\ &= kV_{AB}[I_C \sin \varphi_C + (\sqrt{3}/2)I_B \cos \varphi_B + (1/2)I_B \sin \varphi_B] \end{aligned}$$

Mômen quay tổng cộng.

$$T_1 + T_2 = K\sqrt{3}V_{ph}(I_A \sin \varphi_A + I_B \sin \varphi_B + I_C \sin \varphi_C) = \sqrt{3}KQ$$

Do đó mômen quay tỉ lệ với năng lượng phản kháng. Như vậy thiết bị này thích hợp đo năng lượng phản kháng. Ở điện áp đối xứng kết quả đo không ảnh hưởng bởi dòng tải không cân bằng.

Khi mắc thiết bị đo này vào mạch điện cần phải đúng theo thứ tự của ba pha được ghi trên thiết bị đo.

5.6 ĐO HỆ SỐ CÔNG SUẤT

Như chúng ta đã biết dòng điện và điện áp là hai tín hiệu khi qua tải bất kỳ (thuần trở hoặc kháng trở), có sự lệch pha hoặc không lệch pha phụ thuộc vào đặc tính của tải. Trong lĩnh vực đo điện, chúng ta cần biết $\cos\varphi$, φ là góc lệch pha, mà chúng ta gọi là hệ số công suất. Còn trong lĩnh vực đo điện tử chúng ta cần quan tâm đến sự lệch pha giữa hai tín hiệu bất kỳ, chẳng hạn như sự lệch pha giữa hai tín hiệu vào và ra của mạch khuếch đại hoặc một hệ thống điều khiển. Trong chương này chúng ta đề cập đến những phương pháp và thiết bị đo sự lệch pha giữa dòng và áp qua tải, còn một số phương pháp và mạch đo lệch pha giữa hai tín hiệu có tần số lớn hơn sẽ đề cập ở phần thiết bị đo điện tử. Cũng như vấn đề đo hệ số công suất, chúng ta chỉ đề cập đến phương pháp và thiết bị đo tần số tín hiệu trong điện công nghiệp còn vấn đề đo tín hiệu cao hơn sẽ được trình bày trong thiết bị đo điện tử.

5.6.1 Đo $\cos\varphi$ dùng vôn-kế và watt-kế

Đo $\cos\varphi$ dùng vôn-kế

Để kiểm tra hoặc lấy chuẩn cho $\cos\varphi$ kẽ hoặc đo sự lệch pha φ giữa hai tín hiệu: $e_1 = E_1 \cos\omega t$ và $e_2 = E_2 \cos(\omega t + \varphi)$

Chúng ta có thể dùng phương pháp sau:

Dùng vôn-kế đo S , tổng số của hai tín hiệu e_1, e_2 và D hiệu số của chúng theo giản đồ vectơ (H.5.27).

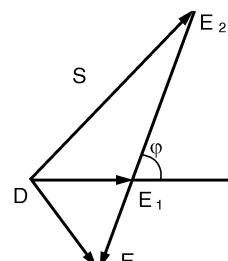
$$S^2 = E_1^2 + E_2^2 + 2E_1 E_2 \cos\varphi$$

$$D^2 = E_1^2 + E_2^2 - 2E_1 E_2 \cos\varphi$$

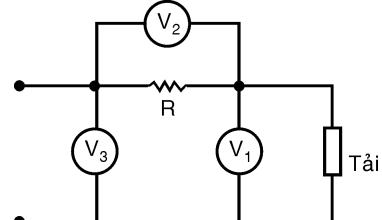
$$\text{Như vậy: } \cos\varphi = \frac{S^2 - D^2}{4E_1 E_2}$$

Cũng tương tự như phương pháp này ở trong phần đo công suất của tải kháng bằng phương pháp ba vôn-kế chúng xác định $\cos\varphi$ cho tải.

$$\cos\varphi = \frac{V_3^2 - V_1^2 - V_2^2}{2V_1 V_2}$$



Hình 5.27: Giai đoạn tính $\cos\varphi$ bằng vectô



Hình 5.28: Cách丈量 $\cos\varphi$ bằng ba vôn-kế

V_1 : điện áp của tải; V_2 : điện áp của điện trở thuần; V_3 : điện áp của R và tải; φ : góc lệch giữa tải và thuần trở R , chính là góc lệch pha giữa dòng và điện áp cho tải. Với phương pháp này nếu góc lệch pha khoảng 90° thì sai số

khoảng từ 5° đến 10° phụ thuộc vào độ chính xác của vôn-kế.

Đo $\cos\varphi$ bằng vôn-kế, ampe-kế và watt-kế

Đây cũng là phương pháp cổ điển đơn giản, mạch điện được mắc như sau (H.5.29): Watt-kế cho biết công suất hiệu dụng P_e của tải, vôn-kế và ampe-kế cho biết công suất biểu kiến: $P_a = VI$. Như vậy $\cos\varphi$ được xác định:

$$\cos\varphi = \frac{P_e}{P_a}$$

Trong phương pháp đo này, sai số tạo ra do ampe-kế, vôn-kế và watt-kế ở hai cách mắc rẽ ngắn hoặc rẽ dài. Ngoài ra còn có sai số do cuộn dây điện áp của watt-kế, do cấu tạo của cơ cấu điện động (đã được đề cập đến trong phần trên).

5.6.2 $\cos\varphi$ kẽ dùng cơ cấu tỉ số kế điện động

Trường hợp tải một pha

Đặc biệt cuộn dây 1 được nối với điện trở R , và cuộn dây 2 được nối với điện cảm L để sao cho dòng I_L và I_R lệch pha $\pi/2$, và hai cuộn dây được xếp đặt thẳng góc với nhau. Cho nên chúng ta có:

$$M_1 = M\cos\theta; M_2 = M\sin\theta$$

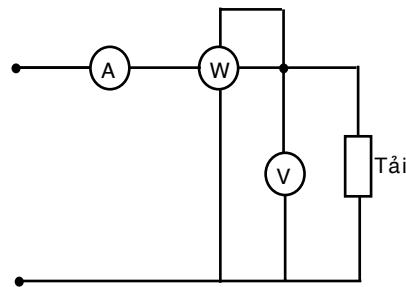
M_1 : hệ số hõ cảm giữa cuộn dây di động 1 với cuộn dây cố định.
 M_2 : hệ số hõ cảm giữa cuộn dây di động 2 với cuộn dây cố định.

M : hệ số hõ cảm lớn nhất khi các cuộn dây di động có từ thông (do cuộn dây cố định tạo ra) xuyên qua lớn nhất.

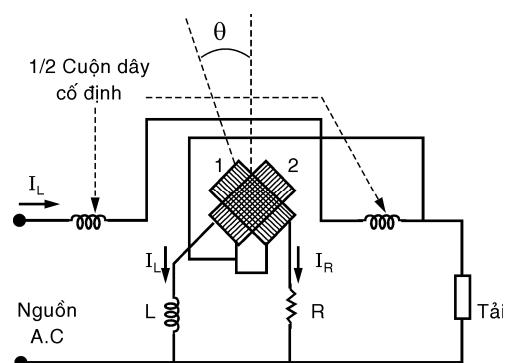
M: hệ số hõ cảm lớn nhất khi các cuộn dây di động có từ thông (do cuộn dây cố định tạo ra) xuyên qua lớn nhất.

Giả sử tổng trở của hai cuộn dây di động không đáng kể so với điện trở R và $L\omega$. Cho:

$$v_L = V\sqrt{2} \cos\omega t: \text{điện áp của tải.}$$



Hình 5.29: Cầu đo công suất, ampe-kế và watt-kế



Hình 5.30: $\cos\varphi$ nhanh chóng một pha

$$i_L = I\sqrt{2} \cos(\omega t - \varphi) : \text{dòng điện qua tải.}$$

V, I là trị hiệu dụng.

Khi đó dòng điện qua cuộn dây 1 và 2 là:

$$i_R = (V\sqrt{2}/R) \cos \omega t \quad \text{và} \quad i_L = (V\sqrt{2}/L\omega) \cos(\omega t - \varphi)$$

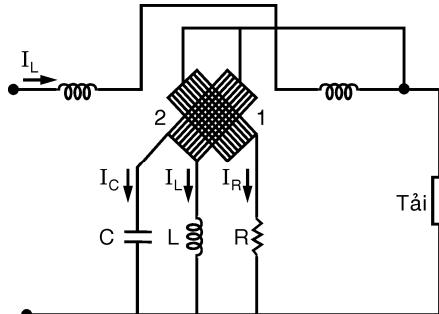
Do đó mômen quay trung bình T_1, T_2 của cuộn dây 1 và cuộn dây 2.

$$T_1 = \frac{dM_1}{d\theta} \frac{VI}{R} \cos \varphi; \quad T_2 = \frac{dM_2}{d\theta} \frac{VI}{L\omega} \sin \varphi$$

Tại trị số θ_i của cuộn dây di động $T_1 = T_2$, hai cuộn dây di động đứng yên và góc lệch pha φ giữa hai tín hiệu áp và dòng điện của tải được xác định: $\operatorname{tg}\varphi = (L\omega/R)\operatorname{tg}\theta_i$.

Nếu như cuộn dây di động và mạch điện ché tạo sao cho $R = L\omega$ thì tại vị trí chỉ thị của hai cuộn dây có được: $\theta_i = \varphi$

$\cos\varphi$ kế thường có vạch đo được khắc độ theo trị số \cos của góc lệch pha φ có trị số 0 ở giữa, về phía phải của điểm 0 là sớm pha (lead) và về phía trái là trễ pha (lag). Việc lấy chuẩn cho $\cos\varphi$ chịu ảnh hưởng của tần số của tín hiệu, để cho nó ít bị ảnh hưởng bởi tần số tín hiệu, người ta thay cuộn dây 2 bằng hai phần tử có số vòng dây bằng nhau, một phần tử nối với L , còn phần tử còn lại nối với C như hình 5.31, tần số LC để sao cho tần số hoạt động của thiết bị: $LC\omega^2 = 1$



Hình 5.31: $\cos\varphi$ keá coù
boå chín taàn soá

Dòng điện qua L và C có khuynh hướng đối nhau, nhưng có chiều quấn của hai phần tử cuộn dây sao cho mômen quay hai phần tử cộng vào nhau. Nghĩa là tần số tăng lên thì dòng điện đi qua L giảm, trong khi đó dòng điện qua C tăng lên để sao cho tổng số (độ lớn) của hai dòng điện này gần như không thay đổi. Như vậy mômen quay T_2 sẽ không thay đổi khi tần số tín hiệu thay đổi. Trong sự bổ chính này có thể đáp ứng tốt khi tần số tín hiệu thay đổi khoảng 10 phần trăm tần số hoạt động định danh của thiết bị đo.

Trường hợp tải ba pha

Trong trường hợp này góc lệch pha φ được đo giữa dòng điện một dây

pha so với điện áp giữa các dây pha của tải ba pha, như cách mắc mạch hình 5.32. Cuộn dây cố định của pha kế được mắc nối tiếp với tải ở một trong ba pha điện của tải, còn hai khung quay 1 và 2 được mắc giữa các pha của tải qua trung gian của các điện trở R có trị số lớn và điện cảm của các cuộn dây có trị số không đáng kể. Mômen quay trung bình của khung quay 1 và 2 là:

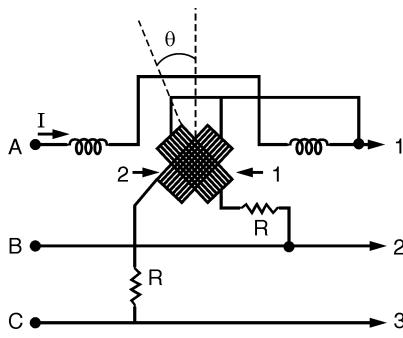
$$T_1 = MI \frac{V\sqrt{3}}{R} \sin \theta \cos(I_1, V_1 - V_2) \text{ và } T_2 = MI \frac{V\sqrt{3}}{R} \cos \theta \sin(I_1, V_1 - V_3)$$

Theo giản đồ vectơ:

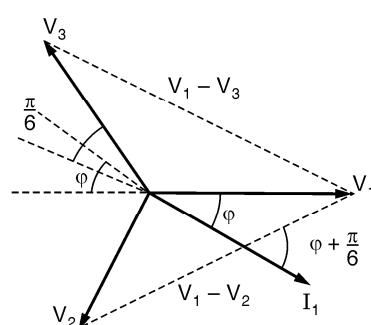
$$\cos(I_1, V_1 - V_2) = \cos(\varphi + \frac{\pi}{6}); \quad \cos(I_1, V_1 - V_3) = \cos(\frac{\pi}{6} - \varphi) = \cos(\varphi - \frac{\pi}{6})$$

M : hệ số hổ cảm, M cực đại khi một trong hai khung quay song song với trục của cuộn dây cố định.

θ : góc của khung quay 1 và pháp tuyến của vectơ cảm ứng \vec{B} .



Hình 5.32: Cách mắc pha kế
diện động ba pha



Hình 5.33: Giải đồ Fresnel của điện áp và
dòng điện của pha kế ba pha

Hai mômen quay của khung quay 1 và 2 luôn luôn đối kháng nhau. Cho nên tại θ_1 của hai mômen quay cân bằng, khung quay đứng yên $T_1 = T_2$, dẫn đến: $\sin \theta_i \cos(\varphi + \pi/6) = \cos \theta_i \cos(\varphi - \pi/6)$.

$$\text{Do đó: } \operatorname{tg} \theta_i = \frac{\cos(\varphi - \pi/6)}{\cos(\varphi + \pi/6)}$$

$$\text{Suy ra: } \operatorname{Sin} \varphi [1 + \operatorname{tg} \theta_i] = \sqrt{3} \cos \varphi [\operatorname{tg} \theta_i - 1]$$

$$\operatorname{tg} \varphi = \sqrt{3} \frac{\operatorname{tg} \theta_i - \operatorname{tg} \pi/4}{1 + \operatorname{tg} \theta_i \operatorname{tg} \pi/4} = \sqrt{3} \operatorname{tg} \left(\theta_i - \frac{\pi}{4} \right) = -\sqrt{3} \operatorname{tg} \left(\frac{\pi}{4} - \theta_i \right)$$

Ghi chú:

a) Trái ngược lại pha kế một pha, pha kế ba pha này không ảnh hưởng bởi tần số nếu như tần số tín hiệu không quá cao.

b) Phương pháp đo φ có thể dùng pha kế một pha nhờ thực hiện điểm trung tính giả với ba điện trở, điểm dưới của L và R được mắc vào điểm trung tính này.

c) Thiết bị $\cos\varphi$ kế sét điện động có cùng nguyên tắc làm việc như cơ cấu điện động. Nhưng cuộn dây cố định được quấn trên lõi sắt từ, điều này làm giảm từ trễ của mạch từ và tăng sự tổn hao công suất tiêu thụ. Lõi sắt từ gồm những mảnh sắt từ có độ từ thẩm cao, mỏng để làm giảm ảnh hưởng của dòng điện xoáy trong trường hợp ở tần số cao.

Ví dụ: Thiết bị cụ thể trong công nghiệp pha kế hiệu Chauvin Arnoux 50/60Hz. Cấp chính xác 2,5 dùng cho điện lưới một pha và ba pha bằng với điện áp danh định.

Một pha: 57,7 V + 10% đến 100 V + 20 %

127 V + 10% đến 220 V + 10%

Ba pha: 220 V + 10% đến 380 V + 10%, dòng điện danh định 5 A.

5.7 THIẾT BỊ CHỈ THỊ ĐỒNG BỘ HÓA (SYNCHRONOSCOPE)

Nhờ có thiết bị chỉ thị đồng bộ này cho phép chúng ta có thể ghép hai máy phát điện khác nhau một cách đồng bộ, hoặc máy phát điện với lưới điện của điện lực. Đây là loại pha kế một pha mà cuộn dây cố định được cung cấp bởi điện lưới, còn hai khung quay của tỉ số kế được cung cấp điện áp bởi máy phát điện.

Với cách ghép này không chỉ bằng nhau về tần số, mà phải còn cùng pha giữa điện lưới và điện từ máy phát.

Cho lưới điện có điện áp: $V = V\sqrt{2} \cos\omega t$

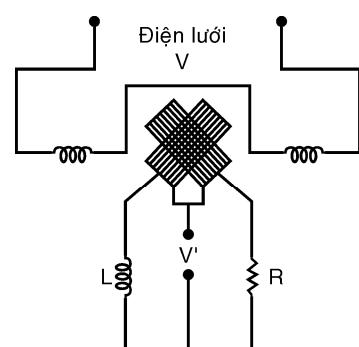
Và điện của máy phát điện: $v = V'\sqrt{2} \cos(\omega't + \alpha)$

Có thể viết lại như sau:

$v' = V'\sqrt{2} \cos(\omega't - \varphi)$, với:

$$(\omega - \omega')t - \alpha = \varphi$$

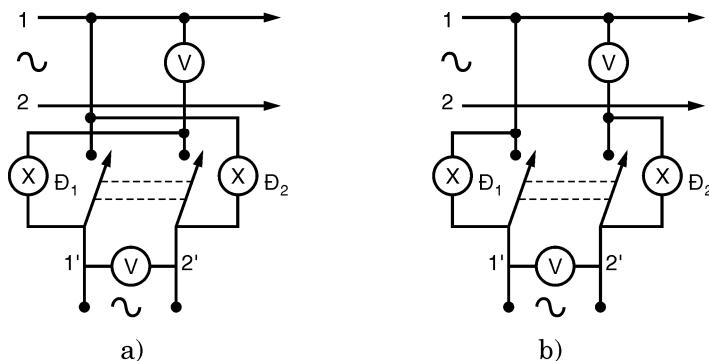
Khung quay của thiết bị quay tự do và được nối với công tắc trượt, cho nên khi tần số góc ω , ω' hơi khác biệt thì khung quay sẽ quay với tốc độ tương ứng với sự khác biệt



Hình 5.34: Cách măc chæ thô ñoàng boä hoäa

của tần số. Ví dụ 1: vòng trong 6 giây tương ứng với sự lệch 0,25 Hz. Chiều quay của khung quay giúp cho sự điều chỉnh tần số của máy phát tăng lên, hay giảm xuống. Đến khi tần số của hai tín hiệu bằng nhau thì khung quay sẽ không quay tròn nữa mà sẽ lệch một góc θ tương ứng với sự lệch pha của hai điện áp, sự đồng bộ hóa giữa hai tín hiệu được xác định đúng khi kim chỉ thị ngay giữa thang đo.

Ví dụ thiết bị cụ thể: Synchronoscope NE 96 Compteur Schlumberger. Có bố trí hai đèn chỉ thị pha.



Hình 5.35: a) Cách mắc khi đồng bộ hóa thì đèn cháy
b) Cách mắc khi đồng bộ hóa thì đèn tắt

Công suất tiêu thụ:

□ Phần cho mạch điện máy phát là: 1,5VA

□ Phần cho mạch điện lưới: 5VA

Calip cho cả hai mạch $2 \times 100V$, tần số 50Hz.

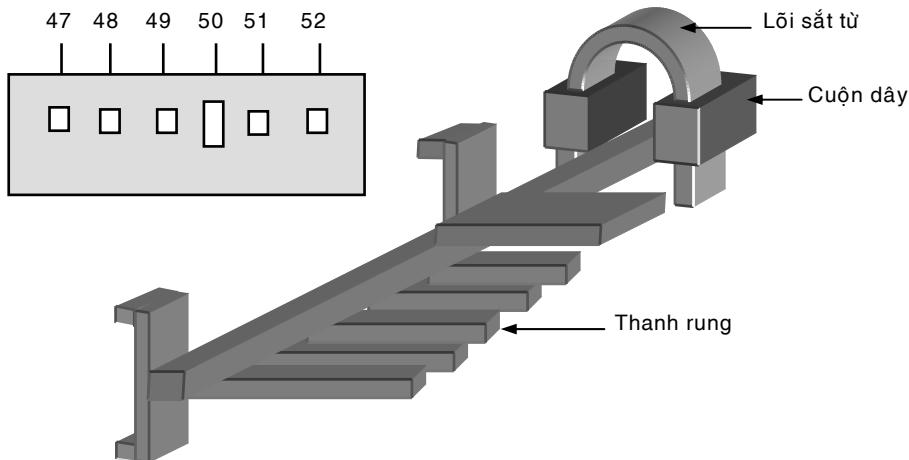
Ghi chú: Do đôi lúc có sự hư hỏng của thiết bị đồng bộ hóa chúng ta có thể dùng mạch điện mắc như sau. Đưa vào mạch điện hai đèn *neon* được mắc như hình 5.35.

5.8 TẦN SỐ KẾ

5.8.1 Tần số kế bắn rung (*tần số kế cộng hưởng cơ học*)

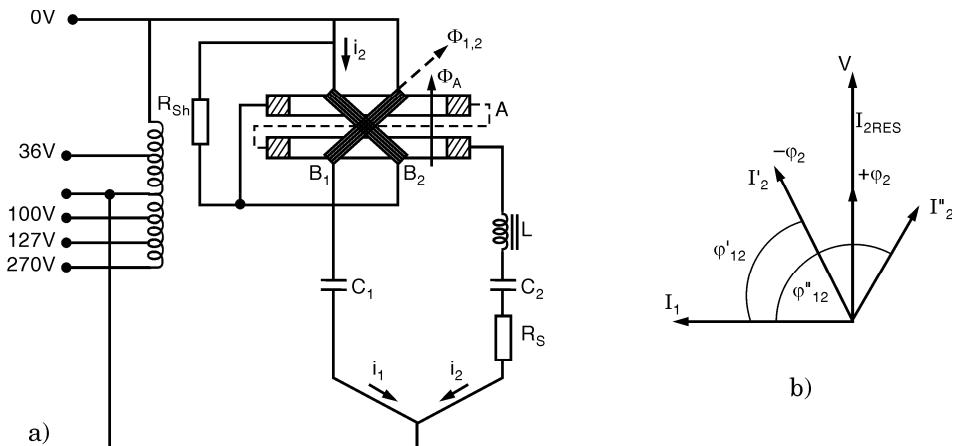
Cấu tạo và nguyên lý hoạt động: gồm một nam châm điện tạo ra qua cuộn dây điện quấn trên lõi sắt từ hình chữ U, một miếng thép nằm trong từ trường của nam châm điện gắn chặt vào một thanh, mang những thanh rung có tần số dao động riêng khác nhau. Tín hiệu cần đo tần số được đưa vào cuộn dây của nam châm điện, sẽ tạo ra lực hút miếng thép với tần số dao động f , khiến cho các thanh rung nào có tần số dao động riêng bằng tần số f thì sẽ dao động cực đại do cộng hưởng riêng, còn các thanh khác không cộng hưởng sẽ không dao động cực đại. Như vậy chúng ta sẽ đọc kết quả tại trị số tương ứng với thanh rung cực đại.

Hình 5.36: Cơ cấu tần số cộng hưởng cơ học



5.8.2 Tần số kế điện động hoặc sắt điện động

Cấu tạo: Đây là thiết bị đo dùng cơ cấu chỉ thị tần số kế điện động hoặc sắt điện động (như loại D506 của Liên Xô cũ). Mạch đo được mắc vào cơ cấu như hình 5.37a. Cuộn dây di động B_1 được mắc vào tụ điện C_1 và cuộn dây B_2 nối với cuộn cố định A , đầu còn lại của cuộn cố định A nối với điện cảm L , điện dung C_2 và điện trở R_S . Còn điện trở R_{Sh} mắc song song với hai đầu cuộn B_2 dùng để hiệu chỉnh máy sao cho dòng điện qua cuộn B_2 thích hợp.



Hình 5.37: Mạch đo tần số kế cơ cấu điện động

Nguyên lý hoạt động: Điện cảm L và điện dung C_2 được điều chỉnh cộng hưởng ở tần số giữa của thang đo, nghĩa là:

$$\omega_{av}L = \frac{1}{C_2\omega_{av}}$$

Kết quả là dòng điện cộng hưởng I_{2ES} cùng pha với điện áp cung cấp V và trễ pha 90° so với dòng điện I_1 (H.5.37). Do đó mômen quay T_1 làm quay cuộn dây B_1 bằng không, nghĩa là.

$$T_1 = kI_1 I_{2RES} \cos 90^\circ = 0$$

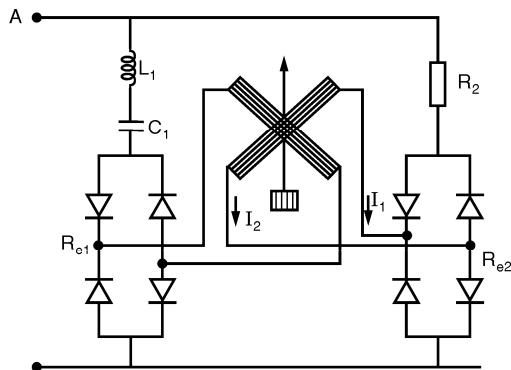
Trong khi đó mômen T_2 được tạo ra bởi dòng điện I_2 trong cuộn dây A và B_2 làm di chuyển cuộn dây sao cho trục quay của từ thông tạo nên bởi cuộn dây A và B_2 trùng nhau. Như vậy dòng điện I_2 sẽ thay đổi ở bất kỳ sự lệch tần số của tín hiệu đo do tần số góc cộng hưởng ω_{av} . Sự lệch pha giữa dòng điện I_2 và điện áp V theo chiều dương khi tần số tăng và theo chiều âm khi tần số giảm.

Ở tần số khác, với tần số cộng hưởng, mômen quay T_1 khác không sẽ làm cho cuộn dây B_1 quay, đồng thời kết hợp với mômen quay T_2 làm quay cuộn dây B_2 và ngược lực này phụ thuộc vào sự lệch pha giữa dòng điện I_1 trong cuộn dây B_1 và dòng điện I_2 trong cuộn dây A (sự lệch pha này nhỏ hơn hay lớn hơn 90°). Vì hai mômen này quay ngược nhau nên kim chỉ thị sẽ dừng lại khi hai mômen này bằng nhau và mômen này lại phụ thuộc vào tần số của tín hiệu. Tín hiệu đo tần số được đưa vào mạch đo thông qua biến áp tự ngẫu có các đầu sơ cấp tương ứng với các trị số $36 - 100 - 127 - 220$ V. Khoảng tần số cần đo của thiết bị đo loại này trong khoảng $50 - 1500$ Hz được chia ra làm nhiều tầm khác nhau. Tần số kế loại này có thể đạt độ chính xác tới $0,2\%$.

(loại D506 của Liên Xô cũ).

5.8.3 Tần số kế dùng cơ cấu tỉ số kế từ điện có chỉnh lưu

Cấu tạo: Bộ phận chỉ thị của thiết bị là tỉ số từ điện. Mạch đo dùng hai nhánh song song, nhánh song song thứ nhất bao gồm cuộn dây L_1 , điện dung C_1 và cầu chỉnh lưu toàn sóng R_{el} . Nhánh song song thứ hai gồm có điện trở R_2 và cầu chỉnh lưu toàn sóng R_{el2} . Vì độ lệch của kim chỉ thị phụ thuộc vào tỉ số của dòng điện qua hai cuộn dây, mà dòng điện lại phụ thuộc vào tổng trở của hai nhánh song song.



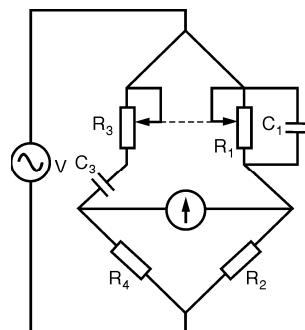
Hình 5.38: Tần số kế dùng công tắc cao tần soá kế tօø nීän còu chænh lõu

Nghĩa là: $\alpha = F(I_1/I_2) = F(R_2/Z_1)$

Mà: $Z_1 = [r_I^2 + (2\pi f L_1 - 1/2\pi f C_1)^2]^{1/2}$; r_I : điện trở của cuộn dây.

Còn R_2 không thay đổi (thường lớn hơn so với nội trở cuộn dây), cho nên góc lệch α của kim chỉ thị phụ thuộc vào tần số của tín hiệu cung cấp cho mạch đo.

5.8.4 Phương pháp đo tần số dùng cầu WIEN



Hình 5.39: Mạch cầu đo tần số

Hình 5.39 biểu diễn mạch cầu Wien được dùng để đo tần số. Khi: $Z_1Z_4 = Z_2Z_3$ (điều kiện cân bằng của cầu)

$$\text{Với: } \frac{1}{Z_1} = \frac{1}{R_1} + j\omega C_1$$

$$Z_2 = R_2; \quad Z_3 = R_3 = \frac{j}{C_3 \omega}; \quad Z_4 = R_4$$

Như vậy khi cầu cân bằng:

$$R_4 \frac{R_1}{1 + j\omega C_1 R_1} = R_2 \left(R_3 - \frac{j}{C_3 R_1} \right)$$

$$\text{Hoặc là: } \frac{R_4}{R_2} = \frac{R_3}{R_1} + \frac{C_1}{C_3} + j \left(C_1 R_3 - \frac{1}{\omega C_3 R_1} \right)$$

Cân bằng phần thực và phần ảo:

$$\frac{R_4}{R_2} = \frac{R_3}{R_1} + \frac{C_1}{C_3}$$

$$\text{Và: } \omega R_3 C_1 = \frac{1}{\omega C_3 R_1}$$

$$\text{Do đó: } \omega = \frac{1}{\sqrt{C_1 C_3 R_1 R_3}}$$

Trong điều kiện: $R_1 = R_3 = R; C_1 = C_3 = C$.

$$\text{Thì: } \frac{R_4}{R_2} = 2 \text{ hoặc } R_4 = 2R_2$$

$$\text{Khi đó tần số tín hiệu cho bởi: } f = \frac{1}{2\pi R C}.$$

Ở điện dung C không đổi tần số được cho bởi: $F = k(1/R)$

Như vậy trong cơ cấu thiết kế sao cho R_1 và R_3 cùng thay đổi, để điều kiện $R_1 = R_3$ bảo đảm luôn luôn được thỏa.

Để cho cầu được cân bằng thì dạng tín hiệu phải không có họa tần, điều này có thể đạt được bằng cách nối tiếp với bộ phận chỉ thị sự cân bằng của cầu bằng mạch lọc. Nếu bộ phận chỉ thị cân bằng của cầu dùng *tai nghe* của điện thoại, thì sự cân bằng của cầu được xác định bởi tín hiệu âm thanh cơ bản (vào khoảng 1 kHz). Phương pháp này có thể có độ chính xác từ $0,1 \div 0,5\%$ và thuận lợi cho khoảng tần số từ $100\text{Hz} \div 100\text{kHz}$.

Cầu “T đôi” (mạch lọc T đôi)

Cầu “*T đôi*” được mắc theo hình 5.40. Tín hiệu đo tần số f_x được đưa vào ngõ vào mạch lọc. Khi cầu cân bằng có điều kiện:

$$\omega_x^2 R_2^2 C_1 C_2 = 2$$

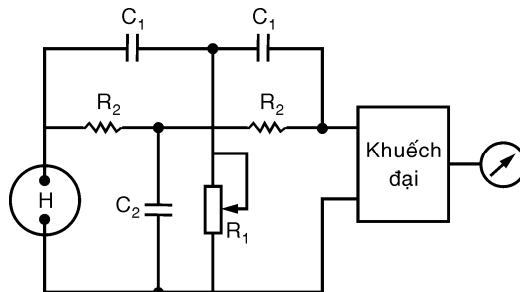
$$\text{Và: } 2\omega_x^2 C_1^2 R_1 R_2 = 1$$

Khi $R_2 = 2R_1$ và $C_2 = 2C_1$

$$\omega_x^2 = \frac{1}{2C_1^2 R_1 R_2} = \frac{1}{2} \frac{1}{C_1^2 2R_1^2} = \frac{1}{4C_1^2 R_1^2}$$

Thì: $\omega_x = \frac{1}{2R_1 C_1} = 2\pi f_x = \frac{1}{2R_1 C_1}$

Hay: $f_x = \frac{1}{4\pi R_1 C_1}$



Hình 5.40: Cầu *T* *đôi* để đo tần số

Bộ phận chỉ thị cân bằng gồm mạch khuếch đại (KD) và điện kế.

Phương pháp đo dùng cầu “*T* *đôi*” có thể đo từ vài chục Hz đến vài trăm kHz sai số trong khoảng từ 0,5% đến 1%. Sai số này phụ thuộc vào độ chính xác của phần tử cầu, độ nhạy của bộ phận chỉ thị sự cân bằng của cầu.

Ngoài ra chúng ta còn những phương pháp so sánh dùng hình Lissajous, mạch công hưởng hấp thụ và máy đếm tần số sẽ được đề cập đến trong phần thiết bị đo điện tử.

Chương 6

ĐO ĐẠI LƯỢNG CƠ HỌC VẬT THỂ RĂN

6.1 CẢM BIẾN VỊ TRÍ VÀ SỰ DỊCH CHUYỂN

Những cảm biến này được dùng rất phổ biến. Một mặt, do việc kiểm soát vị trí và sự dịch chuyển là một phần quan trọng trong việc hiệu chỉnh hoạt động các máy móc, các máy công cụ chẳng hạn. Mặt khác, do một số đại lượng vật lý có thể đo được vì sự dịch chuyển nhờ chi tiết thử nghiệm. Đó là trường hợp của những lực, những áp suất, gia tốc, nhiệt độ, v.v... Có hai phương pháp cơ bản được dùng để xác định vị trí và đo sự dịch chuyển.

Phương pháp 1 thường được dùng. Cảm biến tạo ra tín hiệu gắn liền với vị trí của một trong những thành phần của cảm biến liên kết với đối tượng di động, đặc tính quan trọng của nhóm này là tổng trở cảm biến phụ thuộc vào đặc tính hình học hoặc kích thước cảm biến thay đổi theo vị trí của phần tử di động. Đó là trường hợp các cảm biến: biến trở đo lường, điện cảm có lõi di động, điện dung có lõi di động, biến áp có độ ghép thay đổi.

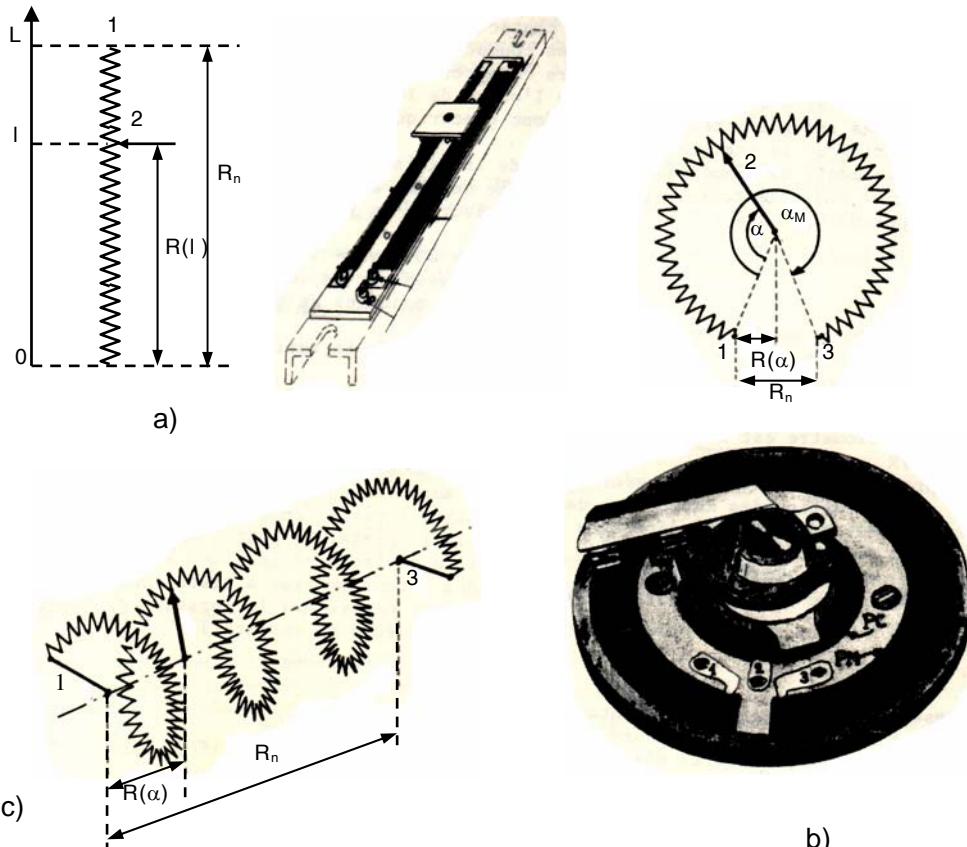
Phương pháp 2 ít thông dụng. Cảm biến tạo ra một xung ứng với mỗi lần phần tử di chuyển: vị trí và sự dịch chuyển được xác định bởi sự đếm xung phát ra, hoặc trừ ra tùy theo chiều chuyển động. Những cảm biến được gọi là giới hạn ở hai đầu được đặc trưng bởi không có liên kết cơ khí với vật mà nó đo khoảng cách hoặc chuyển động. Chúng có độ tinh lớn, sự liên kết giữa vật chuyển động và cảm biến được thực hiện nhờ một sự liên kết từ trường, điện từ trường hoặc tĩnh điện mà cường độ ghép phụ thuộc vào vị trí tương đối giữa vật và cảm biến, xác định đáp ứng của cảm biến.

6.1.1 Cảm biến điện trở

1- Biến trở đo lường

Đó là loại cảm biến có nguyên lý cấu tạo đơn giản, cho phép thực hiện với giá thành rẻ, tín hiệu tạo ra có thể thu được ở mức độ tương đối lớn và không cần một mạch biến đổi đặc biệt. Tuy nhiên, sự hiện diện của con chay do sự trượt là nguyên nhân tạo ra tiếng ồn và sự hao mòn, điều này dẫn đến sự suy giảm chất lượng cảm biến (tuyến tính, chính xác) và có số lần vận hành giới hạn mà nó không bị hư hỏng. Mặt khác, cảm biến có thể hoạt động ở môi trường không khí ẩm, bụi.

a) Dạng hình học



Hình 6.1: Những dạng biến trở

a) Biến trở thẳng; b) Biến trở góc; c) Biến trở hélice

Một biến trở gồm một điện trở cố định R_n , và trên điện trở có một tiếp điểm gọi là con chạy. Điện trở R giữa con chạy và một trong hai đầu cố định có đặc tính: một mặt, phụ thuộc vào vị trí con chạy (tức phần di động mà ta muốn biến đổi vị trí ra tín hiệu điện), mặt khác nó phụ thuộc vào điện trở cố định. Khi điện trở được cấu tạo đồng nhất, biến trở tuyến tính vì có một tỉ lệ giữa R và vị trí con chạy. Tùy theo dạng hình học của điện trở cố định và sự di động con chạy, ta phân biệt:

- Biến trở dịch chuyển thẳng: $R(l) = (l/L)R_n$
- Biến trở dịch chuyển góc: $R(\alpha) = (\alpha/\alpha_M)R_n$

với α_M là góc dịch chuyển tối đa.

Trong đó: biến trở dịch chuyển vòng: $\alpha_M < 360^\circ$.

biến trở dịch chuyển hélice: $\alpha_M > 360^\circ$.

b) *Điện trở*: được cấu tạo bởi dây quấn hoặc dạng màng (piste). Dây điện trở phải nêu những đặc tính sau: hệ số nhiệt độ của điện trở suất, sức điện động nhiệt, độ ổn định tinh thể. Những hợp kim thường được dùng: Ni–Cr, Ni–Cu, Ni–Cr–Fe, Ag–Pd. Dây quấn được thực hiện trên vật liệu cách điện (thủy tinh, gỗ hoặc nhựa), dây quấn có lớp vỏ cách điện. Điện trở màng được cấu tạo bởi một miếng plastique phủ một lớp than dãn điện, hoặc lớp oxyd kim loại, kích thước của những hạt kim loại vào khoảng $10^{-2} \mu\text{m}$. Giá trị điện trở R_n thông thường có giá trị từ $1\text{k}\Omega \div 100\text{k}\Omega$ và có thể đạt đến vài $\text{M}\Omega$.

Sai số của điện trở: những biến trở được chế tạo với sai số của R_n tùy theo trường hợp $\pm 20\%$ hay $\pm 10\%$, nó có thể đạt $\pm 5\%$.

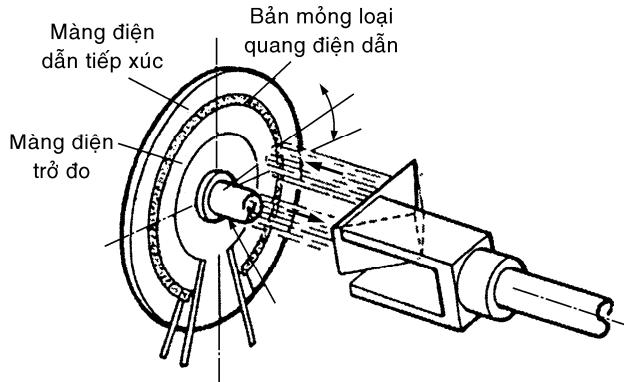
Độ chính xác cao đối với trị số điện trở, trong trường hợp tổng quát thì không cần thiết bởi vì tín hiệu ra là kết quả của tỷ số $R(x)/R_n$.

Hệ số nhiệt độ của điện trở: thông thường rất cao đối với điện trở màng (khoảng $-3 \cdot 10^{-4}/^\circ\text{C}$).

Tuyến tính: sự không đồng nhất trong chế tạo hoặc do thành phần vật liệu, một sự không đối xứng nhỏ trong kích thước có thể kéo theo một sự không tuyến tính.

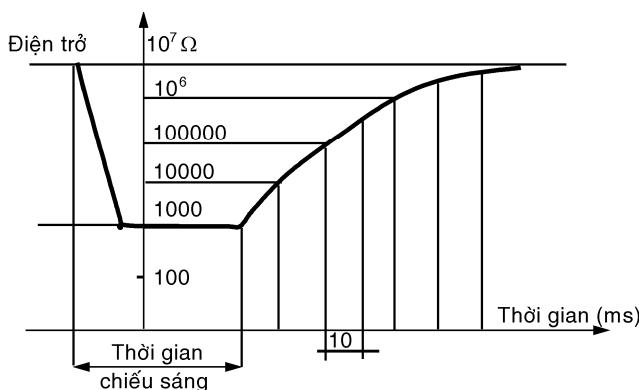
2- Biến trở không có con chạy dạng cơ

Sự bất lợi của con chạy dạng cơ là sự trượt trên piste (gây ra sự hao mòn, tiếng ồn) có thể loại bỏ bằng cách thay kết nối cơ khí giữa trực di động và màng điện trở bởi liên kết quang, hoặc từ.



Hình 6.2: Nguyên tắc của biến trở con chạy dạng quang

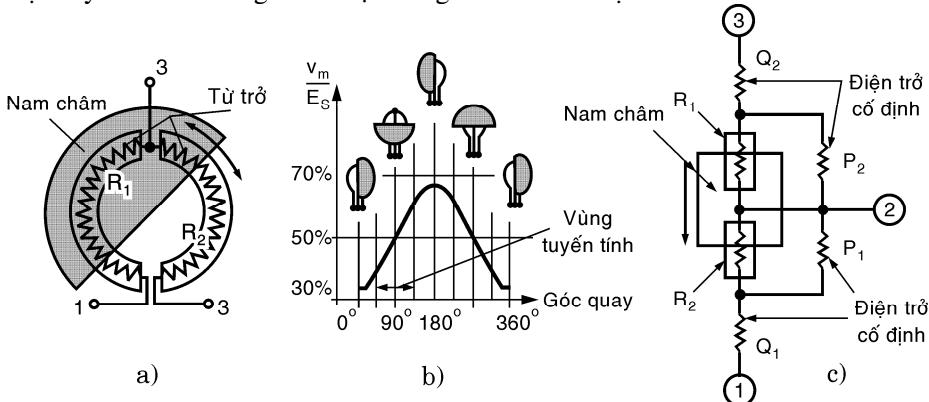
Trong loại biến trở góc có con chạy dạng quang, màng điện trỏ đo được tách biệt với màng điện dẫn tiếp xúc bởi một băng mỏng dạng quang điện dẫn ($CdSe$), trên màng mỏng này nhận một lượng ánh sáng di chuyển cùng lúc khi ta xoay trực của biến trở. Điện trở của lớp quang điện dẫn được chiếu sáng sẽ giảm đi, tạo thành một sự kết nối giữa màng điện trỏ đo và màng tiếp xúc.



Hình 6.3: Sự thay đổi điện trở của lớp quang điện dẫn dưới tác động của sự chiếu sáng trong thời gian ngắn

Loại biến trở từ được cấu tạo bởi hai phần từ trở R_1 và R_2 mắc nối tiếp. Một nam châm có cùng trực quay với biến trở tạo ra một từ trường xuyên qua một phần điện trở R_1 và R_2 thay đổi với vị trí góc của trực quay. Từ trường

cảm ứng gây nên một sự thay đổi quan trọng điện trở của những phần R_1 và R_2 nó xuyên qua. Điện áp cung cấp E_S được áp vào hai đầu 1 và 3, điện áp đo được lấy ở điểm chung 2 và một trong hai đầu còn lại.



Hình 6.4: Biến trở góc loại từ

a) Nguyên tắc theo góc quay; b) Đáp ứng điện; c) Mạch bù trừ nhiệt

6.1.2 Cảm biến điện cảm

1- Nguyên lý và đặc tính tổng quát

Sự dịch chuyển mà ta muốn biến đổi thành tín hiệu điện được thực hiện nhờ một trong những phần tử mạch từ, kéo theo một sự thay đổi từ thông trong cuộn dây. Khi phần tử di chuyển là một lõi sắt từ, một sự chuyển đổi sự dịch chuyển thẳng hay quay tròn được thể hiện bởi:

- Sự thay đổi hệ số từ cảm (điện cảm thay đổi).
- Sự thay đổi độ ghép giữa các cuộn dây sơ và thứ cấp của biến áp (biến áp vi sai, microsyn) gây ra một sự thay đổi điện áp thứ cấp.

Khi cuộn dây quay tròn so với một cuộn cố định, thì một cuộn giữ vai trò phần cảm, còn cuộn kia phần ứng, nó tác động như một biến áp có độ ghép thay đổi. Cuộn sơ là phần cảm, cuộn thứ là phần ứng và tạo ra một điện áp hoạt động theo góc quay (biến trở điện cảm, résolver). Những thay đổi hệ số tự cảm và hổ cảm M theo sự dịch chuyển của lõi sắt thông thường có sự tuyến tính kém, điều này có thể cải thiện đáng kể vì việc bố trí hai cuộn dây đối kháng mà hệ số tự cảm L và hổ cảm M thay đổi ngược nhau đối với cùng một chuyển động, như vậy ta đã thực hiện một sự bù trừ một phần không tuyến tính (hoạt động push - pull). Cảm biến điện cảm được dùng trong mạch có nguồn cung cấp bởi một nguồn điện áp sin, có tần số thường giới hạn cỡ hàng chục kHz để giảm bớt những mất mát về từ và dòng điện Foucault, cũng như ảnh hưởng điện dung ký sinh. Điện áp đo v_m , là kết quả của sự biến đổi biến

độ của điện áp cung cấp $E_S \cos \omega_0 t$ bởi sự dịch chuyển $x(t)$: $v_m = K \cdot x(t) \cdot E_S \cos(\omega_0 t + \Phi)$.

Rất hiếm, những sự thay đổi phần tử điện cảm có thể được dùng biến đổi tần số của mạch dao động, tỉ lệ với sự dịch chuyển. Trong mọi trường hợp, bất kỳ loại biến đổi nào, tần số f của sự chuyển động phải rất nhỏ so với tần số sóng mang f_S để dễ dàng cho việc tách sóng: $f < f_S/10$. Những cảm biến điện cảm nhạy đối với những từ trường nhiễu, là lý do tại sao cần đặt những màng bảo vệ từ trong cuộn dây.

2- Điện cảm thay đổi

Hệ số tự cảm L của cuộn dây có N vòng dây được diễn tả theo từ trở R của mạch từ.

$$L = \frac{N^2}{R} \quad \text{vô ú} \quad R = \int \frac{dl}{\mu \cdot S}$$

maçh töø

μ - độ từ thẩm; S - tiết diện mạch từ.

Khi tiết diện của mạch từ không đổi trong từng đoạn:

$$R = \frac{l_f}{\mu_0 \mu_f S_f} + \frac{l_o}{\mu_0 S_o}$$

trong đó: l_f , l_o - chiều dài trung bình của đường sức trong lõi sắt và trong không khí

S_f , S_o - tiết diện mạch từ và khe hở không khí

μ_f - độ từ thẩm tương đối của vật liệu từ (vào khoảng 10^3 đến 10^4) và $\mu_0 = 4\pi \cdot 10^{-7}$ MKSA.

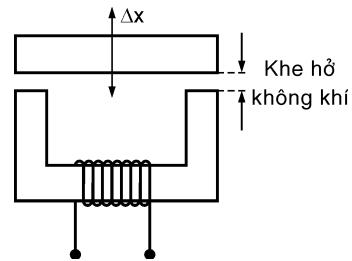
a) Mạch từ có khe hở không khí thay đổi (H.6.5)

Ta thiết lập dễ dàng, từ công thức tổng quát, hệ số tự cảm L :

$$L = \mu_0 N^2 S [1/(l_o + l_f/\mu_f)]$$

Để cho tự cảm L nhạy đối với sự thay đổi của khe hở không khí, ta phải chọn $l_o \ll l_f/\mu_f$. Lúc đó ta có: $L = \mu_0 N^2 S/l_o$

Một sự di chuyển Δx của phần ứng dẩn đến một sự thay đổi $\Delta l_o = 2\Delta x$ của khe hở không khí, hệ số tự cảm sẽ đạt trị giá mới.



Hình 6.5: Caêm bieán loaiii khe hôu khoang khí thay nōái

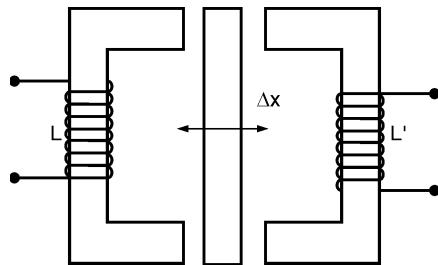
$$L + \Delta L = \frac{\mu_0 N^2 S}{l_o} \frac{1}{1 + 2\Delta x/l_o} \Rightarrow \Delta L = -\frac{2\mu_0 N^2 S}{l_o^2} \frac{\Delta x}{1 + 2\Delta x/l_o}$$

$$\frac{\Delta L}{L} = -2 \frac{\Delta x}{l_o} \frac{1}{1 + 2\Delta x/l_o}$$

Nếu $\Delta x \ll l_o$, ta có: $\Delta L = -\frac{2\mu_0 N^2 S}{l_o^2} \Delta x [1 - \frac{2\Delta x}{l_o} + (\frac{2\Delta x}{l_o})^2 + \dots]$

$$S = \frac{\Delta L}{\Delta x} = -\frac{2\mu_0 N^2 S}{l_o^2} [1 - \frac{2\Delta x}{l_o} + (\frac{2\Delta x}{l_o})^2 + \dots]$$

Độ nhạy phụ thuộc vào vị trí ban đầu l_o của phần ứng, nó càng lớn nếu l_o càng bé. Mặt khác nó có thể coi như không đổi nếu sự dịch chuyển rất bé so với l_o , điều này khiến cho việc sử dụng cảm biến bị giới hạn đối với những dịch chuyển bé, cỡ mm.



Hình 6.6: Toả hőip hai lõi maich töø
cou khe hõu khoang khí thay noái

Độ nhạy và sự tuyến tính được cải thiện, nếu ta dùng tự cảm của hai lõi mạch từ giống nhau đặt đối xứng đối với phần ứng di động và như vậy khe hở không khí có sự thay đổi ngược chiều đối với hai lõi mạch từ. Sự thay đổi hệ số từ cảm L' của cuộn dây thứ hai:

$$\Delta L' = \frac{2\mu_0 N^2 S}{l_o^2} \frac{\Delta x}{1 - (2\Delta x/l_o)}$$

$$\text{Đối với } \Delta x \ll l_o: \quad \Delta L' = -\frac{2\mu_0 N^2 S}{l_o^2} \Delta x [1 - \frac{2\Delta x}{l_o} + (\frac{2\Delta x}{l_o})^2 + \dots]$$

Hai cuộn dây có L và L' được đặt trong hai nhánh của cầu đo. Điện áp lệch khi đó tỉ lệ với $\Delta L' - \Delta L$:

$$\Delta L' - \Delta L = \frac{4\mu_0 N^2 S}{l_o} \Delta x [1 + (\frac{2\Delta x}{l_o})^2 + \dots]$$

Như vậy độ nhạy của tổ hợp điện cảm tăng gấp đôi, sự không tuyến tính được cải thiện.

b) Cuộn dây có nòng di động (H.6.7)

Hệ số tự cảm của cuộn dây tùy thuộc vào vị trí nòng sắt. Cách tính hệ số tự cảm L như sau: ta xem điện cảm là tổ hợp nối tiếp của điện cảm môi trường không khí; chiều dài l_o ; hệ số tự cảm L_o ; điện cảm của lõi sắt từ có chiều dài l_f ; hệ số tự cảm L_f , hệ số hổ cảm M .

Ta có: $L = L_o + L_f + 2M$. Với $M = K\sqrt{L_o \cdot L_f}$

K : hệ số ghép, giả sử không đổi ($0 \leq K \leq 1$).

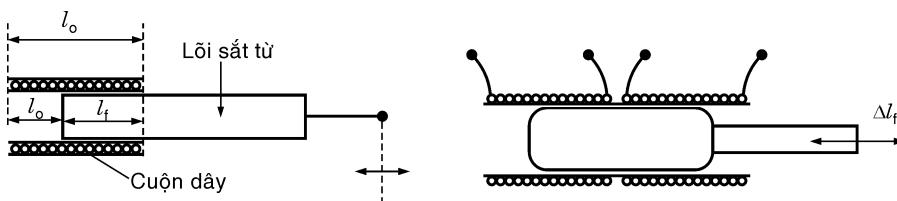
Ta có thể viết theo đặc tính của mạch:

$$L_o = \mu_o \frac{N^2}{l^2} S_o I_o = \mu_o \frac{N^2}{l^2} S_o (I - I_f)$$

$$L_f = \mu_o \frac{N^2}{l^2} (S_o + (\mu_f - 1) S_f) I_f$$

$$L = \mu_o \frac{N^2}{l^2} [S_o I + (\mu_f - 1) S_f I_f + 2K \sqrt{S_o (S_o + (\mu_f - 1) S_f)} \cdot \sqrt{(I - I_f) \cdot I_f}]$$

Sự dịch chuyển Δl_f của lõi sắt từ kéo theo một sự thay đổi ΔL của điện cảm, nó tùy thuộc vào l_f và hoạt động không tuyến tính theo Δl_f . Tương tự như trường hợp điện cảm có khe hở không khí thay đổi, sự không tuyến tính có thể giảm bớt bằng cách mắc push-pull, hai cuộn dây có cùng chung một nòng sắt từ.



Hình 6.7: Sơ đồ nguyên lý của cuộn dây có nòng sắt di động

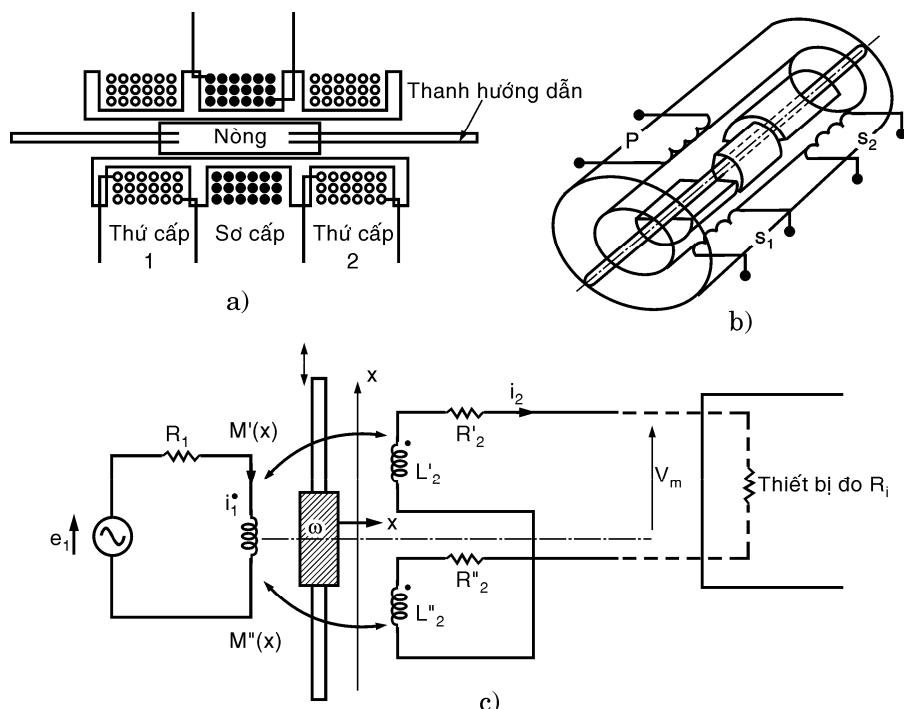
Hình 6.8: Hai cuộn dây có cùng chung một nòng sắt hoạt động push-pull

3- Biến áp vi sai (H.6.9)

Biến áp vi sai là một loại cảm biến được chú ý đến phẩm chất tuyến tính, độ tinh. So sánh với cảm biến điện cảm có nòng di động, hoạt động push-pull có cùng một số tính chất, loại cảm biến vi sai có một số điểm lợi hơn.

- Cách mắc dây đơn giản, không cần thực hiện cân bằng cầu đo.
- Một sự độc lập giữa mạch kích thích và mạch đo.

a) Nguyên lý: Biến áp vi sai được cấu tạo gồm một cuộn dây sơ cấp và hai cuộn dây thứ cấp được bố trí đối xứng so với cuộn sơ cấp. Cuộn sơ cấp được cung cấp bởi sức điện động sin: $e_1 = E_1 \cos \omega t$. Sự dịch chuyển của nòng sắt từ làm biến đổi độ ghép giữa cuộn sơ và hai cuộn thứ. Những cuộn thứ được mắc xung đối sao cho sức điện động cảm ứng của chúng trừ nhau.



Hình 6.9: Biến áp vi sai: a) Loại dịch chuyển thẳng,
b) Dịch chuyển góc, c) Sơ đồ mạch điện tương đương.

Với mạch điện đơn giản, ở đó ta bỏ qua điện dung ký sinh. Những phương trình đối với mạch sơ và mạch thứ cấp:

$$e_1 = (R_1 + jL_1\omega)i_1 + j[M'(x) - M''(x)]\omega i_2$$

$$[R'_2 + R''_2 + R_i + j\omega(L'_2 + L''_2)]i_2 + j\omega[M'(x) - M''(x)]i_1 = 0$$

Ta có thể tính theo e_1 , điện áp $V_m = R_i i_2$ ở hai đầu thiết bị đo mắc vào thứ cấp.

$$V_m = \frac{j\omega R_i [M''(x) - M'(x)] e_1}{R_1(R_i + R_2) + j\omega[L_2 R_1 + L_1(R_2 + R_i)] - \omega^2[L_1 L_2 + (M'(x) - M''(x))^2]}$$

với: $L_2 = L'_2 + L''_2$ và $R_2 = R'_2 + R''_2$.

Về nguyên tắc $v_m = 0$ khi nòng sắt ở vị trí chính giữa cách đều đối với hai cuộn thứ cấp, đó là vị trí ban đầu $x = 0$ và ta có $M'(0) = M''(0)$. Trong thực tế ở vị trí đó ta có v_m nhỏ nhất chứ không hoàn toàn bằng 0, có hai nguyên do:

□ Những họa tần tạo ra bởi đặc tính không tuyến tính của đường cong từ hóa lõi sắt.

□ Điện dung ghép giữa cuộn sơ và cuộn thứ.

b) Đặc tính đo lường

$$\text{Độ nhạy: } S = \frac{\Delta V_m}{\Delta x} = \frac{2\omega a E_1}{\sqrt{R_1^2 + L_1^2 \omega^2}}; \quad V_m: \text{biên độ tín hiệu}$$

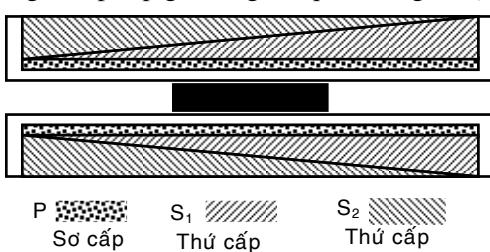
Đối với những tần số kích thích thấp ($f < R_1/2\pi L_1$): $S = 2\omega a E_1 / R_1$

Độ nhạy trong trường hợp này tỉ lệ với tần số của nguồn sơ cấp, nó có thể bị dao động với những thay đổi nhiệt của R_1 , tuy nhiên điều này có thể bù trừ bằng cách đặt nối tiếp với R_1 một điện trở r'_1 mà những thay đổi do nhiệt ngược với R_1 hoặc cung cấp cho sơ cấp một nguồn dòng.

Đối với những tần số kích thích cao ($f > R_1/2\pi L_1$): $S = 2aE_1 / L_1$

Độ nhạy f độc lập với tần số cung cấp và ảnh hưởng nhiệt được xem như thu nhỏ, độ nhạy tỉ lệ với biên độ của điện áp sơ cấp nhưng sự đốt nóng của cuộn sơ và sự bão hòa của mạch từ không cho phép gia tăng E_1 quá một giá trị giới hạn được nhà chế tạo chỉ rõ. Khi cuộn dây sơ cấp được bố trí xen giữa hai cuộn dây thứ cấp dẫn đến một số bất lợi:

□ Ở phía ngoài cuộn dây sơ cấp, một từ trường hoàn toàn không



Hình 6.10: Cauch boá trí ba cuoän daây űeaå caüi thieän tuyéan tính vaø gio taêng khoaung ño

giống nhau đọc theo trực, điều này dẫn đến một sự không tuyến tính.

□ Một sự giới hạn khoảng đo của sự dịch chuyển nòng sắt, từ tâm đi đến một trong hai cuộn dây thứ cấp. Những điều bất lợi này có thể được khắc phục bằng sự bố trí ba cuộn dây chồng lên nhau (H.6.10).

Một vài đặc tính của biến áp sai:

Khoảng đo: Dịch chuyển thẳng: $\pm 1\text{mm}$ đến $\pm 500\text{mm}$

Dịch chuyển góc: $\pm 45^\circ$

Độ nhạy: Dịch chuyển thẳng: 1 đến $500\text{mV}/1\text{V/mm}$

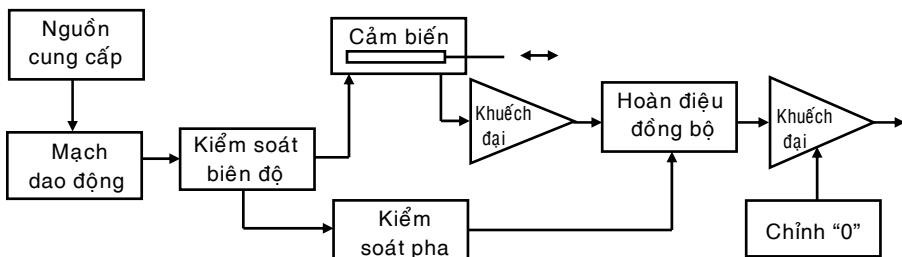
Dịch chuyển góc: 1 đến $10\text{mV}/1\text{V}/1\text{độ}$

Độ tinh: Lỗi di động từ 0.5gam đến vài chục gam.

Điện áp cung cấp từ 1 đến 50V hiệu dụng.

Tần số cung cấp: 50Hz đến 25.000Hz .

c) **Mạch đo:** sự kích cuộn sơ được cung cấp từ một mạch dao động mà tần số và biên độ rất vững.



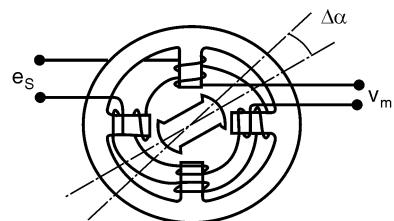
Tín hiệu từ cảm biến được khuếch đại và chỉnh lưu, tín hiệu có pha phụ thuộc vào chiều chuyển động. Sơ đồ khối mạch đo như hình trên.

4- Microsyn

Đó là loại máy điện nhỏ, gồm có stator bốn cực và rotor bằng vật liệu sắt từ. Trên bốn cực của stator có hai cuộn dây sơ và thứ, trên rotor không có quấn dây và giữ nhiệm vụ biến đổi.

Những cuộn dây sơ cấp mắc nối tiếp được cung cấp bởi điện áp sin vào khoảng vài chục vôn tối đa và tần số dưới 10kHz . Từ thông cảm ứng trong mỗi cuộn dây thứ cấp một sức điện động có dạng:

$$\epsilon_i = -d\Phi_i/dt = \omega\Phi_i \sin \omega t \quad (\Phi_i = \Phi_i \sin \omega t)$$



Hình 6.11: Nguyên tắc của microsyn

Những cuộn dây thứ cấp mắc nối tiếp sao cho sức điện động e_1 và e_3 xung đối với e_2 và e_4 , lúc đó điện áp ở thứ cấp:

$$\begin{aligned} v_m &= e_1 + e_3 - e_2 - e_4 \\ \Rightarrow v_m &= \omega (\Phi_1 + \Phi_3 - \Phi_2 - \Phi_4) \sin \omega t \end{aligned}$$

Vị trí góc quay của rotor ấn định từ trở của mạch từ và như thế ấn định từ thông cực đại trong những cuộn dây, khi rotor ở vị trí là trực đối xứng đối với hai cặp cực, những từ thông đi qua bốn cuộn dây thứ cấp bằng nhau, có giá trị Φ_o , điện áp thứ cấp $v_m = 0$, đó là điểm 0 của cảm biến. Khi rotor quay quanh vị trí này, sẽ có một sự biến thiên từ trở và từ thông trong những cuộn dây thứ cấp: $\Phi_i = \Phi_o + \Delta\Phi_i$.

Những sự biến thiên này bằng nhau trong những cuộn thứ cấp S_1 và S_3 ; S_2 và S_4 : $\Delta\Phi_2 = \Delta\Phi_4 = \Delta\Phi'$, $\Delta\Phi_1 = \Delta\Phi_3 = \Delta\Phi$.

Sức điện động cảm ứng tổng cộng: $v_m = 2\omega [\Delta\Phi - \Delta\Phi'] \sin \omega t$

Mặt khác những thay đổi $\Delta\Phi$ và $\Delta\Phi'$ trái dấu nhau, đối với góc quay $\Delta\alpha$ bé, ta có thể viết: $\Delta\Phi = a\Delta\alpha + b(\Delta\alpha)^2$; $\Delta\Phi' = -a\Delta\alpha + b(\Delta\alpha)^2$

Cách măc dây như thế chính là cách măc push-pull. Điều này cho phép một sự bù trừ không tuyến tính đối với sự thay đổi của từ thông:

$$v_m = 4a\omega\Delta\alpha \sin \omega t.$$

Như vậy độ lớn của điện áp thứ cấp trong giới hạn góc quay chung quanh trị giá 0 tỉ lệ với góc dịch chuyển $\Delta\alpha$.

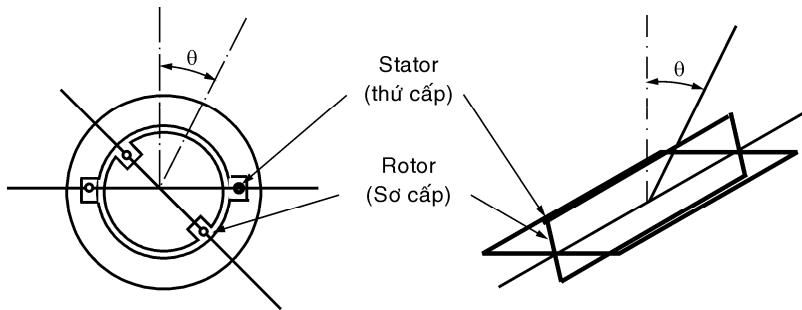
Đặc tính đo lường:

- Khoảng đo $\pm 10^\circ$.
- Độ nhạy: $0,1V$ đối với điện áp 1 vôn và góc lệch 1 độ.
- Khoảng cách tuyến tính: 0,5 đến 1% khoảng đo.

5- Biến trở điện cảm

Gồm có stator và rotor được cấu tạo bởi vật liệu sắt từ. Trên stator và rotor có bố trí một cuộn dây quấn như hình 6.12.

Rotor được nối với trục quay mà ta muốn biến đổi chuyển động đóng vai trò cuộn sơ cấp và được cung cấp bằng một nguồn dạng sin: $E_1 \cos \omega t$.



Hình 6.12: Nguyên tắc cấu tạo của cảm biến biến trö điện cảm

Dòng sơ cấp có dạng: $I_1 \cos(\omega t + \psi)$, tạo ra một từ thông thăng goc với mặt phẳng cuộn dây sơ cấp.

Cuộn dây stator đóng vai trò cuộn dây thứ cấp có một từ thông xuyên qua sõ phat sinh sức điện động ứng có độ lớn: $E_2 = M(\theta)\omega I_1$.

$M(\theta)$: hệ số hõ cảm hai cuộn dây. Ta đặt:

$$M(\theta) = M_0 \cos\theta; \theta: \text{Góc lệch giữa hai cuộn dây.}$$

trong những điều kiện này: $E_2 = M_0 \omega I_1 \cos\theta$

độ lớn E_2 bằng 0 khi $\theta = \pi/2$, vị trí này ta xem như vị trí ban đầu của góc quay, ta có thể viết: $E_2 = M_0 \omega I_1 \sin\alpha$, ta đặt $\theta = \alpha + \pi/2$.

$$\Rightarrow E_2 = M_0 \omega I_1 \alpha, \text{ đối với } \alpha \text{ nhỏ}$$

Một sự bố trí thích hợp những cuộn dây cho phép nối rộng khoảng tuyến tính, với góc quay cực đại α_M gần bằng $\pi/2$.

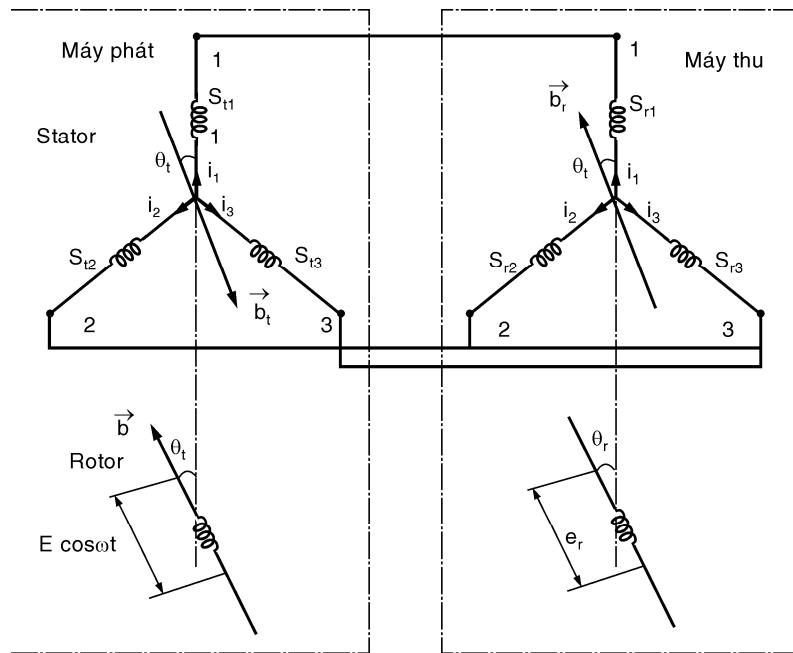
Khoảng đo: 120° đến 180° .

Độ nhạy: $0,5$ đến $20mV$ đối với 1 vôn điện áp và góc lệch 1° .

Khoảng cách tuyến tính: $0,1$ đến $0,5\%$ khoảng đo.

6- Synchrodetecteur (Sel Syn)

Đó là một tập hợp hai máy điện giống nhau: một máy truyền, một máy nhận. Mỗi máy gồm một rotor và một stator ba pha, ba cuộn dây được bố trí lệch nhau 120° và mắc theo Y. Những cuộn dây stator của máy truyền và nhận được nối với nhau như hình 6.13. Phần quay của máy truyền (*transmetteur*) được cung cấp bởi một điện áp: $E_{cos\theta}$, sẽ tạo ra một từ trường \vec{b} mà từ thông đi qua các cuộn dây stator S_{t1}, S_{t2}, S_{t3} phát sinh sức điện động ứng e_{t1}, e_{t2}, e_{t3} . Gọi θ_t là góc lệch giữa rotor và cuộn dây stator S_{t1} , những sức điện động cảm ứng trong S_{t1}, S_{t2}, S_{t3} .



Hình 6.13: Nguyên tắc cấu tạo của synchrodetecteur

$$e_{t1} = \omega KE \cos \theta_t \cdot \cos(\omega t - \psi)$$

$$e_{t2} = \omega KE \cos(\theta_t + \frac{2\pi}{3}) \cos(\omega t - \psi)$$

$$e_{t3} = \omega KE \cos(\theta_t - \frac{2\pi}{3}) \cos(\omega t - \psi)$$

với K và ψ tùy thuộc đặc tính hình học và đặc tính điện của các cuộn dây. Những dòng điện i_1, i_2, i_3 trong các cuộn S_{t1}, S_{t2}, S_{t3} tạo nên từ trường \vec{b}_t ngược chiều với \vec{b} .

Những dòng điện này sẽ chạy trong các cuộn dây stator của máy nhận (*récepteur*) S_{r1}, S_{r2}, S_{r3} , có chiều ngược với dòng điện chạy trong máy truyền và tạo ra từ trường \vec{b}_r ngược chiều với \vec{b}_t như vậy cùng chiều với \vec{b} . Gọi góc lệch giữa rotor của máy nhận và cuộn dây stator S_{r1} là θ_r . Từ thông cảm ứng trong rotor tỉ lệ với $\cos(\theta_t - \theta_r)$, như vậy sức điện động ứng với hai đầu rotor, có mạch số ω , và độ lớn:

$$E_r = K' \cdot E \cos(\theta_t - \theta_r)$$

K' đối với một máy cho trước tùy thuộc vào cách thực hiện và ω .

Trường hợp khi: $\theta_r = \pi/2; E_r = K' \cdot E \sin \theta_t$

Với θ_t gần bằng 0: $E_r = K' E \theta_t$

Những đặc tính đo lường

Khoảng đo 360° , độ nhạy (ở gần điểm 0) từ $10mV$ đến $100mV$ đổi với $1V$ điện áp và góc lệch 1° . Synchrodetecteur được dùng trong những thiết bị đo vị trí góc lệch, nó tạo nên một điện áp có độ lớn E_r phụ thuộc khoảng cách giữa vị trí trực muốn đo được nối với máy truyền và vị trí cố định chọn trước của phần quay máy nhận.

6.1.3 Cảm biến điện dung

I- Nguyên lý và đặc tính tổng quát

Đây là những tụ điện dạng phẳng hoặc dạng trụ mà một trong những bán cực di động dẫn đến một sự thay đổi điện dung. Không kể đến hiệu ứng phụ, ta có:

□ Đối với tụ phẳng: $C = \epsilon_r \epsilon_0 A/D$

ϵ_r : hằng số điện môi của môi trường giữa hai bán cực, A và D là tiết diện và khoảng cách giữa hai bán cực.

□ Đối với tụ điện trụ: $C = \frac{2\pi \epsilon_r \epsilon_0 l}{\log r_2/r_1}$

l - độ năm sâu của hình trụ bán kính r_1 trong hình trụ bán kính r_2 .

Trong hệ thống đơn vị MKSA: $\epsilon_0 = 8,85 \cdot 10^{-12}$.

Sự dịch chuyển của bán cực di động có thể được thực hiện:

Trường hợp tụ điện phẳng:

Sự dịch chuyển trong một mặt phẳng song song với bán cực cố định: A thay đổi, D cố định.

Sự dịch chuyển trong mặt phẳng thẳng góc với bán cực cố định: D thay đổi, A cố định.

Trường hợp tụ điện trụ: l thay đổi dọc theo trục.

Những cảm biến điện dung cần được lưu ý bởi cấu tạo đơn giản của nó, cho phép thực hiện cảm biến chắc chắn và tinh. Điện môi thường dùng là không khí. Tùy theo mạch biến đổi đi kèm với cảm biến, tín hiệu có thể hoạt động tuyến tính đối với:

- Sự thay đổi điện dung ΔC .
- Hay sự thay đổi tổng trở ΔZ .
- Hoặc sự thay đổi tương đối $\Delta Z/Z$; ($\Delta Z/Z = -\Delta C/C$).

Để việc sử dụng thiết bị đo thích hợp nhất, cần phải xác định mỗi loại cảm biến điện dung những độ nhạy khác nhau đối với độ dịch chuyển x .

- Độ nhạy điện dung: $S_C = \Delta C/\Delta x$
- Độ nhạy tổng trở: $S_Z = \Delta Z/\Delta x$
- Độ nhạy tương đối: $S_r = \frac{1}{C} \cdot \frac{\Delta C}{\Delta x} = -\frac{1}{Z} \cdot \frac{\Delta Z}{\Delta x}$

Như vậy nếu độ nhạy S_C của điện dung là hằng số, ta chọn trước mạch biến đổi mà điện áp ra v_m thay đổi theo ΔC :

$$v_m = K \cdot \Delta C = K S_C \cdot \Delta x$$

K : hằng số đặc trưng cho mạch biến đổi được dùng, ngược lại nếu S_Z là hằng số ta chọn cách măc sao cho: $v_m = K \Delta Z = K S_Z \Delta x$,

Trong mỗi trường hợp, tín hiệu thu được tỉ lệ với độ dịch chuyển Δx .

2- *Tụ điện có tiết diện thay đổi*

a) *Tụ điện đơn*

Đó là tụ điện phẳng với bán kính di động xoay tròn hay tụ điện dạng trụ có bán kính di chuyển dọc trục như hình 6.14. Trong cả hai trường hợp, điện dung thay đổi tuyến tính theo dịch chuyển x : $C(x) = Kx$

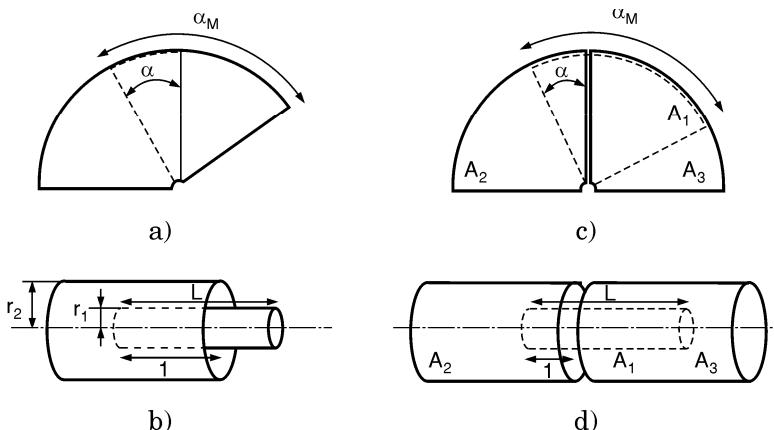
$$\text{Đối với tụ điện xoay: } K = \frac{\varepsilon_0 \pi r^2}{360 \cdot D}, \quad x = \alpha: \text{độ}$$

$$\text{Đối với tụ điện trụ: } K = \frac{2\varepsilon_0 \pi}{\log(r_2/r_1)}, \quad x = l: m$$

Độ nhạy S_C là hằng số: $S_C = K$; Ngược lại tổng trở hoạt động không tuyến tính theo x và: $S_Z = -\frac{1}{K \omega} \cdot \frac{1}{x^2}$.

Độ nhạy tương đối $S_r = 1/x$. Độ nhạy S_Z và S_r rất lớn trong khi x nhỏ.

Ngay cả đối với sự dịch chuyển dx , sự không tuyến tính rất lớn. Việc sử dụng một tụ điện thứ hai hoạt động push-pull với cách măc vi sai cho phép một sự bù trừ.



Hình 6.14: Nguyên lý cảm biến điện dung có tiết diện thay đổi

Tụ điện đơn: a) Xoay tròn; b) Dịch chuyển thẳng

Tụ điện kép: c) Xoay tròn; d) Dịch chuyển thẳng

b) Tụ điện đối vi sai

Bản cực di động A_1 di chuyển giữa hai bản cực cố định A_2 và A_3 tạo thành hai tụ điện mà điện dung của chúng là C_{21} và C_{31} thay đổi ngược dấu với nhau theo sự dịch chuyển x (H.6.14c,d). Vị trí được xem là gốc ban đầu của sự dịch chuyển x là của bản cực di động, tại đó hai bản cực cố định đối xứng, và như thế hai điện dung C_{21} và C_{31} bằng nhau. Với giá trị K và x được xác định trước, với sự dịch chuyển cực đại X , ta có:

$$C_{21} = K(X + x) = KX\left(1 + \frac{x}{X}\right) = C_0\left(1 + \frac{x}{X}\right)$$

$$C_{31} = K(X - x) = KX\left(1 - \frac{x}{X}\right) = C_0\left(1 - \frac{x}{X}\right)$$

Ta đặt $KX = C_0$ với $X = L/2$

L - chiều dài của bản cực di động trong trường hợp tụ điện trụ.

$X = \alpha_M/2$, α_M : góc tạo nên từ tâm của bản cực di động trong trường hợp tụ xoay.

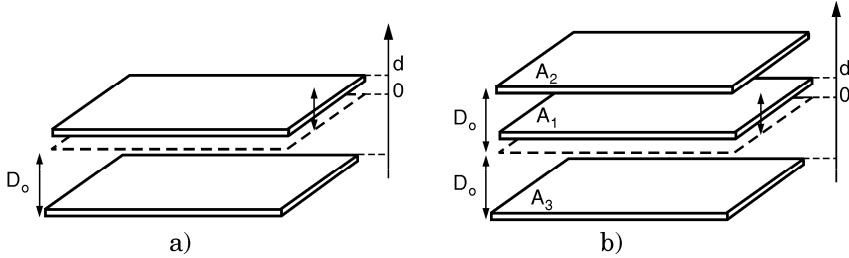
Điều lợi của cách măc vi sai hiện rõ trong tổ hợp điện dung C_{21} và C_{31} . Lý do: khi lưu ý rằng đối với một phương pháp đo tốt, những tỉ số phân áp sau đây hoạt động tuyến tính theo sự di chuyển:

$$\frac{Z_{31}}{Z_{21} + Z_{31}} = \frac{C_{21}}{C_{21} + C_{31}} = \frac{1}{2}(1 + \frac{x}{X})$$

$$\frac{Z_{21}}{Z_{21} + Z_{31}} = \frac{C_{31}}{C_{21} + C_{31}} = \frac{1}{2}(1 - \frac{x}{X})$$

3- Tụ điện có khoảng cách thay đổi (H.6.15)

Đây là những tụ điện dùng để biến đổi sự dịch chuyển thẳng.



Hình 6.15: Nguyên lý của cảm biến điện dung có khoảng cách thay đổi

a) Tụ điện đơn, b) Tụ điện đôi vi sai.

a) Tụ điện đơn: ta gọi d là khoảng cách dịch chuyển với khoảng cách gốc D_o , ta có:

$$C(d) = \frac{\epsilon_o A}{D_o + d}; \quad S_C = -\frac{\epsilon_o A}{(D_o + d)^2}; \quad S_Z = \frac{1}{\epsilon_o A \omega}; \quad S_r = -\frac{1}{D_o + d}$$

Trong trường hợp này sự thay đổi của tổng trở thì tuyến tính theo sự dịch chuyển. Độ nhạy S_C và S_r lớn khi D_o nhỏ, chúng có thể xem như không đổi khi $d \ll D_o$. Độ nhạy S_C của tụ điện có khoảng cách thay đổi rất lớn so với độ nhạy S_C tụ điện có tiết diện thay đổi.

Ví dụ: Tụ điện được cấu tạo với những bản cực tiết diện vuông có cạnh là a , được đặt cạnh nhau với khoảng cách D_o ($D_o \ll a$), ta có:

↔ Đối với sự dịch chuyển song song với một trong hai cạnh $S_{C(\parallel)} = \frac{\epsilon_o a^2}{D_o}$.

↔ Đối với sự dịch chuyển nhỏ, thẳng góc với bản cực:

$$S_{C(\perp)} = \epsilon_o a^2 / D_o^2 \quad \text{và} \quad S_{C(\perp)} / S_{C(\parallel)} = a / D_o \ll 1$$

Ngược lại tụ điện có khoảng cách thay đổi chỉ có thể dùng để đo sự dịch chuyển nhỏ ($< mm$), trong khi tụ điện có tiết diện thay đổi có khoảng đo tương đối lớn ($> cm$).

b) Tụ điện đôi vi sai: Bản cực di động A_1 dịch chuyển theo hướng thẳng góc với mặt phẳng của bản cực cố định A_2 và A_3 . Nếu gọi d là khoảng cách

dịch chuyển so với vị trí gốc ban đầu thì D_o là khoảng cách đối xứng của hai mặt phẳng, ta có:

$$C_{21} = \frac{\varepsilon_o A}{D_o - d} = \frac{\varepsilon_o A}{D_o} \frac{1}{1 - (d/D_o)} = C_o \frac{1}{1 - (d/D_o)}$$

$$C_{31} = \frac{\varepsilon_o A}{D_o + d} = \frac{\varepsilon_o A}{D_o} \frac{1}{1 + (d/D_o)} = C_o \frac{1}{1 + d/D_o}$$

Với: $\varepsilon_o A/D_o = C_o$.

Tương tự trong trường hợp tụ đôi có tiết diện thay đổi, tổ hợp này có đặc tính đáng chú ý là tỉ số phân áp tuyến tính theo sự dịch chuyển.

$$\frac{Z_{31}}{Z_{21} + Z_{31}} = \frac{C_{21}}{C_{21} + C_{31}} = \frac{1}{2} \left(1 + \frac{d}{D_o}\right); \quad \frac{Z_{21}}{Z_{21} + Z_{31}} = \frac{C_{31}}{C_{21} + C_{31}} = \frac{1}{2} \left(1 - \frac{d}{D_o}\right)$$

6.1.4 Cảm biến đo sự dịch chuyển giới hạn hai đầu

Loại cảm biến này được đặc trưng bởi sự không có liên kết cơ khí giữa thiết bị đo và vật chuyển động, mà bằng sự liên kết của một trường có liên hệ với vị trí tương đối của vật chuyển động.

□ Trường cảm ứng từ đối với những cảm biến từ trở thay đổi, hiệu ứng Hall đối với vật liệu kháng từ.

□ Trường điện từ đối với những cảm biến loại dòng điện Foucault.

□ Trường tĩnh điện đối với những cảm biến điện dung.

Những đặc tính của cảm biến đo sự dịch chuyển giới hạn hai đầu là:

□ Một băng thông rộng

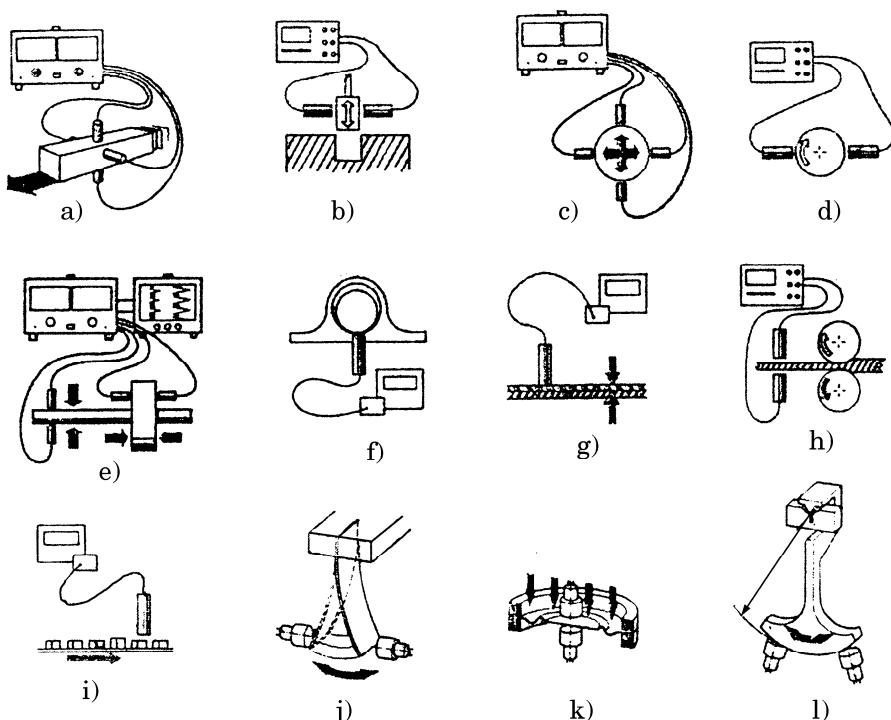
□ Độ tin cậy và độ tinh lớn.

Những điều bất lợi:

□ Khoảng đo thường nhỏ (khoảng mm)

□ Hoạt động không tuyến tính

□ Nhất là đối với một số cảm biến có đáp ứng phụ thuộc vào hình dáng, kích thước và vật liệu của đối tượng, điều này cần thiết cho sự lấy mẫu, được thực hiện trong những điều kiện riêng biệt khi sử dụng.

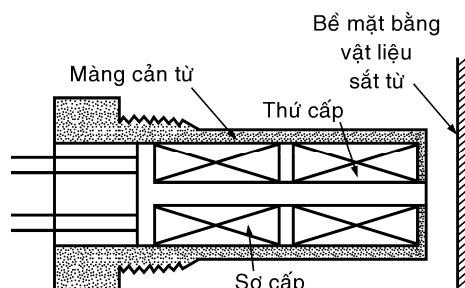


Hình 6.16: Những ứng dụng cảm biến đo sự dịch chuyển giới hạn hai đầu:

- a) Vị trí; b) Dịch chuyển thẳng; c) Dịch chuyển theo hai trục;
- d) Đường kính; e) Dịch chuyển dọc và ngang; g) Bề dày cách điện trên kim loại; h)
- Dường kính kim loại; i) Kiểm tra kích thước v.v...

1- Cảm biến từ trở thay đổi (H.6.17)

Đó là một biến áp mà mạch từ bao gồm vật chuyển động cần đo. Vật chuyển động phải là vật liệu sắt từ, hoặc ít nhất mang một bề mặt bằng vật liệu sắt từ. Khoảng cách giữa đối tượng mà ta muốn đo với đầu cảm biến, đóng vai trò khe hở không khí xác định từ trở của mạch từ và như thế xác định từ thông, điện áp cuộn thứ cấp có dạng không tuyến tính khi cuộn sơ cấp được cung cấp:



Hình 6.17: Cảm biến trở thay đổi

$$V_m = V_{m_0} \frac{1}{(1+ax)^2}$$

với: x - khoảng cách giữa đối tượng và cảm biến

V_{m_0} - phụ thuộc vào độ từ thẩm, dạng hình học và kích thước của đối tượng.

Tín hiệu thu được có thể tuyến tính hóa đối với những dịch chuyển d bé chung quanh một khoảng cách D_o cho trước bằng cách bố trí hai cảm biến hoạt động push-pull. Hai cuộn dây sơ cấp được mắc nối tiếp hoặc song song, hai cuộn dây thứ cấp xuất hiện các điện áp V_{m1} và V_{m2} được mắc xung đối, điện áp đo được:

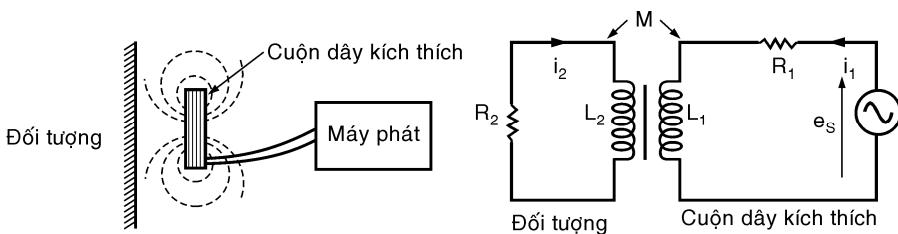
$$V_m = V_{m2} - V_{m1}$$

với: $V_{m1} = V_{m_0} \frac{1}{[1+a(D_o+d)]^2}; \quad V_{m2} = V_{m_0} \frac{1}{[1+a(D_o-d)]^2}$

Nếu: $[\frac{ad}{1+aD_o}]^2 \ll 1 \Rightarrow V_m = V_{m_0}(D_o) \frac{4ad}{1+aD_o}$

2- Cảm biến dòng điện Foucault (H.6.18)

Phần tử chính của cảm biến là một cuộn dây được cung cấp dòng điện tần số cao, nó sẽ tạo ra một từ trường thay đổi chung quanh cuộn dây. Một vật kim loại nằm trong vùng từ trường này sẽ xảy ra hiệu ứng dòng điện Foucault. Theo định luật Lenz, dòng điện này có chiều chống lại nguyên nhân tạo nên nó, tạo nên một từ thông ngược lại với từ thông của cuộn dây, điều này dẫn đến làm giảm hệ số tự cảm của cuộn dây.



Hình.6.18: Cảm biến dòng điện Foucault và mạch tương đương

Cảm biến từ trở thay đổi chỉ dùng với những đối tượng vật liệu sắt từ, cảm biến dòng điện Foucault được dùng cả những vật là kim loại. Tuy nhiên đáp ứng không chỉ phụ thuộc vào khoảng cách đối tượng, mà còn phụ thuộc đặc tính điện (điện trở suất, độ từ thẩm) và những đặc tính hình học (dạng và kích thước). Đối tượng và cảm biến thường đặt trong môi trường không khí, việc lắp đặt có thể bố trí trong môi trường cách điện, điều này cho phép tổn

hao ít đối với tần số dòng điện hoạt động. Lý thuyết đơn giản về hoạt động của loại cảm biến này được xây dựng dựa trên việc xem đối tượng kim loại như một mạch điện có hổ cản M với cuộn dây. Ta có:

$$Z_1 = R_1 + jL_1\omega: \text{tổng trở cuộn dây}$$

$$Z_2 = R_2 + jL_2\omega: \text{tổng trở tương đương của đối tượng}$$

$$M = K\sqrt{L_1 L_2}: \text{hệ số hổ cản}$$

K : hệ số ghép giữa cuộn dây và đối tượng, phụ thuộc vào vị trí của đối tượng.

Ta có phương trình:

$$\text{Sơ cấp: } (R_1 + jL_1\omega) i_1 + jM\omega i_2 = e_1$$

$$\text{Thứ cấp: } (R_2 + jL_2\omega) i_2 + jM\omega i_1 = 0$$

$$\text{Rút gọn: } [R_1 + \frac{M^2\omega^2}{R_2^2 + L_2^2\omega^2} R_2 + j\omega(L_1 - \frac{M^2\omega^2}{R_2^2 + L_2^2\omega^2} L_2)] i_1 = e_1$$

Khi cuộn dây được cung cấp, tổng trở cuộn dây sơ cấp đã được biến đổi do ghép thêm với cuộn thứ cấp.

□ Điện trở cuộn dây sơ cấp gia tăng:

$$R_{1eq} = R_1 + \frac{M^2\omega^2}{R_2^2 + L_2^2\omega^2} R_2$$

□ Điện cảm cuộn dây giảm:

$$L_{1eq} = L_1 - \frac{M^2\omega^2}{R_2^2 + L_2^2\omega^2} L_2$$

Trong trường hợp đối tượng là vật dẫn điện tốt:

$$R_2 \ll L_2\omega \Rightarrow \frac{M^2\omega^2}{R_2^2 + L_2^2\omega^2} \approx K^2 \frac{L_1}{L_2}$$

Và tổng trở tương đương cuộn dây sơ cấp rút gọn:

$$R_{1eq} = R_1 + K^2 \frac{L_1}{L_2} R_2; \quad L_{1eq} = L_1(1 - K^2)$$

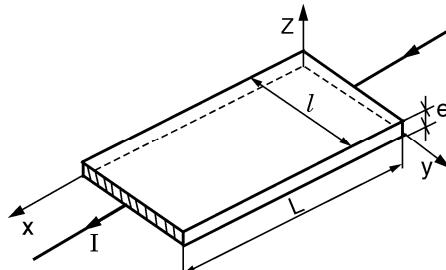
3- Cảm biến hiệu ứng Hall

Hiệu ứng Hall được đặc trưng bởi sự xuất hiện áp V_H thẳng góc với dòng điện chạy trong vật dẫn đặt trong vùng từ trường B , độ lớn V_H phụ thuộc phuong và độ lớn của B . Hiệu ứng Hall là kết quả của lực Laplace tác động trên điện tích di chuyển. Cảm biến hiệu ứng Hall gồm:

□ Phản đầu dò: là một thanh mỏng, thường là chất bán dẫn có dòng điện

chạy qua, và ở hai đầu của thanh ta đo V_H .

□ *Một nam châm:* tạo từ trường B , độ lớn của từ trường trong vùng đặt đầu dò phụ thuộc vào vị trí của nam châm.



Hình 6.19: Nguyên lý đầu dò hiệu ứng Hall

Một trong hai phần tử (đầu dò hoặc nam châm) cố định và ngược lại. Thường đầu dò cố định, trong trường hợp này khối lượng nam châm tương đối nhỏ, điều này dẫn đến hạn chế phạm vi đo lường. Điều lợi của cảm biến là cho phép xác định vị trí và độ dịch chuyển xuyên qua một hành lang bằng vật liệu không phải bằng sắt từ ngăn cách đầu dò và nam châm.

a) Hiệu ứng Hall

Ta xem một thanh dẫn mỏng hình chữ nhật (chiều dài L , chiều rộng l , chiều dày e), một điện áp V cung cấp tạo ra một dòng điện I có chiều dọc theo chiều dài như hình 6.19. Sự dẫn điện được xem như do các ám điện tử có mật độ n , độ linh động μ , ta có:

$$I = \frac{V}{R} \quad \text{với } R = \rho \frac{L}{eI} \quad \rho = \frac{1}{q\mu n}, \quad q = 1,6 \times 10^{-19} \text{ C}$$

$V = E_x L$. E_x : cường độ điện trường dọc theo chiều dài.

$$\Rightarrow I = q \mu n E_x e l$$

Thanh dẫn đặt trong vùng từ trường \vec{B} , lực Laplace F_L tác động lên một ám điện tử vận tốc V :

$$\vec{F}_L = -q \vec{V} \wedge \vec{B}, \quad \text{với} \quad \vec{V} = -\mu \vec{E} x$$

Lực này có chiều theo trục y tăng dần và có giá trị:

$$F_L = q \mu E_X B_N$$

với B_N là thành phần của \vec{B} thẳng góc với mặt phẳng thanh dẫn.

Dưới tác dụng của lực F_L các âm điện tử tích tụ tại bề mặt cạnh trục Oy theo chiều tăng, điều này tạo nên bề mặt đối diện một điện tích có độ lớn bằng nó nhưng khác dấu. Các điện tích này tạo nên một điện trường E_y song song với Oy, và tác động lên âm điện tử một lực $F_y = -qE_y$.

Vật liệu	Điện trở suất ở 25°C (ohm.m)	Hiệu suất Hall ở 25°C ($m^3 \cdot C^{-1}$)
GaAs	2×10^{-3}	$-1,7 \times 10^{-3}$
	$4,5 \times 10^{-5}$	$-1,5 \times 10^{-5}$
InAs	10^{-3}	$-3,7 \times 10^{-3}$
	5×10^{-5}	$-1,1 \times 10^{-4}$
InSb	5×10^{-5}	$-3,8 \times 10^{-4}$
	6×10^{-6}	$-1,9 \times 10^{-5}$

Trạng thái cân bằng được xác lập khi hai lực bằng nhau.

$$E_y = \mu E_X B_N$$

Điện áp V_H phụ thuộc vào E_y và bề rộng l .

$$V_H = -E_y l = -\mu E_X B_N l = -\frac{l}{qn} \frac{B_N}{e} = K_H \frac{l B_N}{e}$$

$$K_H = -\frac{1}{qn} : \text{hằng số Hall}$$

Ví dụ: Một thanh dẫn bằng atimoniured'indium, điện trở suất $5 \times 10^{-5} \Omega m$, dày $0,1 mm$, dòng điện chạy qua $1 mA$, đặt trong từ trường thường trực là $1 T$. Điện áp Hall là $3,8 mV$.

b) Cách thực hiện

Độ nhạy cảm biến: $S_{B_N} = \Delta V_H / \Delta B_N = K_H l / e$

Độ nhạy cảm biến S_{B_N} phụ thuộc vào dòng I và cách thực hiện cảm biến, bề dày e và vật liệu: K_H .

Khi cảm biến dùng để biến đổi vị trí, hoặc sự dịch chuyển, nam châm tạo ra từ trường đóng vai trò chi tiết thử nghiệm là thực hiện việc đo sơ cấp. Vị trí hoặc sự dịch chuyển được biến đổi thành đại lượng B_N nhạy đổi với cảm biến. Độ nhạy vị trí:

$$S_X = \frac{\Delta V_H}{\Delta x} = \frac{K_H I}{e} \cdot \frac{\Delta B_N}{\Delta x} \Rightarrow S_X = S_{B_N} \frac{\Delta B_N}{\Delta x}$$

Độ nhạy S_X tỉ lệ với S_{B_N} và tỉ lệ với $\Delta B_N / \Delta x$

$\Delta B_N / \Delta x$: phụ thuộc vào loại nam châm và khoảng cách nam châm so với đầu dò. Thông thường trị giá này là hằng số.

Chọn vật liệu: Điện áp Hall tỉ lệ với dòng I, nhưng I bị giới hạn do hiệu ứng Joule đốt nóng đầu dò, công suất tiêu tán P_d :

$$P_d = RI^2; \quad R = \frac{1}{q\mu n} \cdot \frac{L}{\theta} \Rightarrow V_H = K_H \sqrt{\frac{P_d}{R}} \cdot \frac{B_N}{e} = [K_H \mu \frac{P_d I}{L e}]^{1/2} \cdot B_N$$

Với công suất P_d cho trước đảm bảo sự đốt nóng không làm hư hỏng đầu dò và nếu điện áp V_H được đo với thiết bị có tổng trở lớn, thì ta chọn được vật liệu mà hệ số $K_H \mu \sim \mu/n$ cực đại.

6.2 CẢM BIẾN ĐIỆN TRỞ BIẾN DẠNG (ĐIỆN TRỞ JAUGE)

(H.6.20)

Việc hiểu biết những lực nén cơ khí trong một cấu trúc, ở điều kiện sử dụng cho phép thẩm định sự an toàn trong hoạt động. Những lực nén tạo nên sự biến dạng và giữa chúng có sự liên hệ được giải thích bằng lý thuyết điện trở của vật liệu. Việc đo sự biến dạng ở vùng định trước, cho phép tính những lực nén ở vùng này. Cảm biến đo sự biến dạng thường được sử dụng là điện trở jauge và được đặt trên cấu trúc mà ta muốn đo sự biến dạng, chúng có kích thước rất bé cỡ mm hoặc cm tùy loại.

Những ứng dụng điện trở biến dạng còn được dùng để các đại lượng vật lý khác như áp suất, lực, gia tốc, ngẫu lực. Điện trở jauge và chi tiết thử nghiệm (chi tiết đi kèm) cấu tạo thành cảm biến đo các đại lượng vật lý khác nhau.

6.2.1 Định nghĩa những đại lượng cơ hữu dụng

Độ biến dạng ε : Đó là tỉ số giữa sự thay đổi kích thước Δl với kích thước ban đầu l : $\varepsilon = \Delta l / l$

Sự biến dạng đàn hồi: Sự biến dạng biến mất cùng lúc với lực tác động.

Lực ép σ : Lực tác động trên đơn vị tiết diện.

Giới hạn đàn hồi: Lực ép cực đại không dẫn đến sự biến dạng thường trực lớn hơn 0,2%, đơn vị tính kG/mm^2 : thép 20 ÷ 80; đồng 3 ÷ 12; chì 0,4 ÷ 1.

Định luật Hooke: Trong phạm vi đàn hồi, sự biến dạng tỉ lệ với lực ép.

Độ lớn Young Y: Xác định sự biến dạng theo chiều của lực nén.

$$\varepsilon_{//} = \frac{1}{Y} \cdot \frac{F}{S} = \frac{1}{Y} \sigma . \text{Đơn vị tính: } kGf/mm^2.$$

thép: $18\,000 \div 29\,000$; đồng: $9900 \div 14000$; chì: $500 \div 1800$

Hệ số Poisson γ : Xác định sự biến dạng thẳng góc với lực nén:

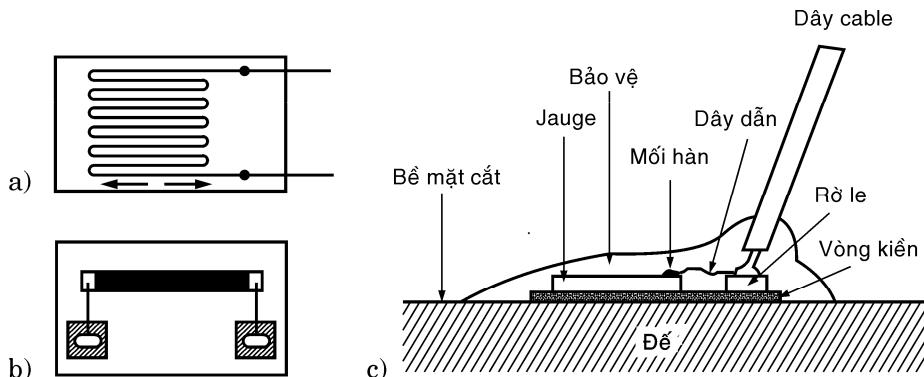
$$\varepsilon_{\perp} = -\square \varepsilon_{//}$$

Trong phạm vi đàn hồi thông thường $\gamma \approx 0,3$.

6.2.2 Nguyên lý tổng quát

Các điện trở biến dạng là những cảm biến thụ động, nó biến đổi sự biến dạng của chính nó thành sự thay đổi giá trị điện trở, sự biến dạng này chính bằng sự biến dạng của cấu trúc lắp đặt điện trở biến dạng. Phạm vi biến dạng có thể được đo với độ chính xác đạt $0,1\%$ trong phạm vi đo $\pm 10^{-5}$ đến $\pm 2 \times 10^{-1}$.

Thông thường điện trở jauge được cấu tạo dưới dạng hình lưỡi, gồm dây dẫn có điện trở suất ρ , tiết diện S và chiều dài nl ; l : chiều dài một cọng và n là số cọng, n thông thường từ $10 \div 20$ đối với những điện trở kim loại và là 1 đối với điện trở bán dẫn.



Hình 6.20: Điện trở jauge: a) Kim loại; b) Bán dẫn

Dây dẫn được đặt trên một giá đỡ cách điện bằng giấy hoặc bằng plastique, tất cả được đặt trên cấu trúc cần đo sự biến dạng. Kết quả điện trở jauge chịu sự biến dạng giống như cấu trúc theo phương song song với cọng dây dẫn, tức độ biến dạng $\Delta l/l$.

Điện trở Jauge được diễn tả: $R = \rho n(l/s)$

Dưới ảnh hưởng sự biến dạng, điện trở jauge thay đổi ΔR :

$$\frac{\Delta R}{R} = \frac{\Delta l}{l} - \frac{\Delta s}{s} + \frac{\Delta \rho}{\rho}$$

Sự biến dạng theo chiều dài của dây, dẫn đến sự thay đổi kích thước ngang là các cạnh a và b đối với tiết diện chữ nhật, sự thay đổi đường kính d đối với tiết diện tròn, sự biến dạng ngang tỉ lệ với sự biến dạng dài.

$$\frac{\Delta a}{a} = \frac{\Delta b}{b} = \frac{\Delta d}{d} = -\gamma \frac{\Delta l}{l}$$

với v: hệ số Poisson, $v \approx 0,3$ trong vùng biến dạng đàn hồi.

$$\text{Kết quả: nếu } S = a.b \text{ hay } s = \frac{\pi}{4} d^2, \text{ thì: } \frac{\Delta s}{s} = -2v \frac{\Delta l}{l}$$

Những điện trở jauge kim loại và bán dẫn được phân biệt bởi biểu thức diễn tả sự thay đổi điện trở suất $\Delta \rho / \rho$. Đối với điện trở kim loại, công thức Bridgman cho ta biết sự liên hệ giữa điện trở suất và sự thay đổi thể tích V: $\Delta \rho / \rho = C \Delta V / V$; C: hằng số Bridgman.

với: $V = snl; \Delta V / V = (1 - 2\gamma) \Delta l / l$

$$\text{và: } \frac{\Delta \rho}{\rho} = C(1 - 2\gamma) \frac{\Delta l}{l}; \text{ đơn giản: } \frac{\Delta R}{R} = [(1 + 2\gamma) + C(1 - 2\gamma)] \frac{\Delta l}{l} = K \frac{\Delta l}{l}$$

K: hệ số Jauge = $(1 + 2\gamma) + C(1 - 2\gamma)$.

Với giá trị biết trước ($\gamma \approx 0,3$; C ≈ 1), hệ số K của điện trở jauge kim loại thông thường là 2. Với điện trở jauge bán dẫn, sự thay đổi điện trở suất được diễn tả bởi biểu thức lực ép sigma và hệ số áp điện trở π : $\Delta \rho / \rho = \pi \sigma = \pi Y \Delta l / l$; Y: độ lớn Young.

Hệ số áp điện trở π tùy thuộc: phuong của cọng điện trở so với phuong của trực tinh thể và phuong của lực nén.

Loại bán dẫn P hay N.

Đối với điện trở jauge bán dẫn:

$$\frac{\Delta R}{R} = [(1 + 2\gamma) + \pi Y] \frac{\Delta l}{l} \text{ với } K = 1 + 2\gamma + \pi Y$$

Trong điều kiện sử dụng bình thường người ta lấy $K = \pi Y$

6.2.3 Điện trở kim loại

Điện trở suất của hầu hết kim loại giảm khi áp suất gia tăng. Thật vậy khi giảm thể tích, khoảng cách giữa các nguyên tử giảm điều này dẫn đến giảm ρ . Vì điện trở suất của kim loại phụ thuộc vào sự khuếch tán của ám

điện tử trong mạng tinh thể, khả năng khuếch tán gia tăng theo độ lớn của dao động nguyên tử trong mạng tinh thể. Khi thể tích tinh thể thu nhỏ, lực liên kết các nguyên tử gia tăng, kết quả dao động giảm đi và khả năng khuếch tán âm điện tử giảm đi, nghĩa là điện trở suất giảm. Vật liệu thường dùng là hợp kim nickel.

Hợp kim	Thành phần	Hệ số Jauge
Constantan	45% Ni, 55% Cu	2,1
Isoélastic	52% Fe, 36% Ni, 8% Cr, 4% (Mn, Mo)	3,5
Karma	74% Ni, 20% Cr, 3% Cu, 3% Fe	2,1
Nichrome V	80% Ni, 20% Cr	2,5
Platine – tungstène	92% Pt, 8% W	4,1

6.2.4 Điện trở bán dẫn

Lý thuyết các vùng thung lũng cho phép giải thích hiệu ứng áp điện trở đối với chất bán dẫn silicium loại N. Trong tinh thể silicium N dọc theo mỗi trục tinh thể có một mức năng lượng cực tiểu đó là vùng thung lũng. Vì lý do đối xứng, ba vùng thung lũng giống nhau và có cùng mật độ điện tử giống nhau. Trong mỗi vùng, độ linh động $\mu_{//}$ của âm điện tử dọc theo trục thì cực tiểu, ngược lại theo hai phương thẳng góc độ linh động μ_{\perp} thì cực đại.

Độ dẫn điện theo một trục bất kỳ: $\sigma = qn (\mu_{//} + 2\mu_{\perp})$

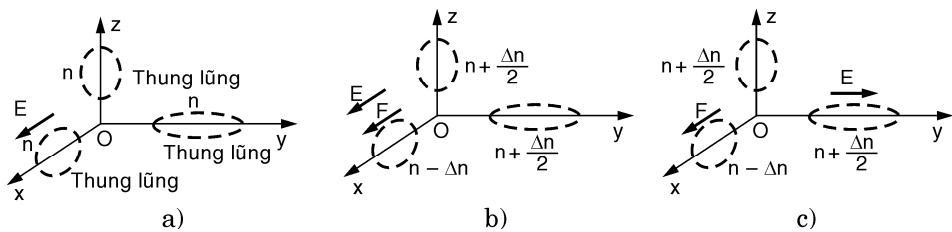
n : mật độ âm điện tử trong mỗi vùng thung lũng.

Khi có một lực nén tác động làm thay đổi kích thước hệ thống, kéo theo sự thay đổi mật độ điện tử thung lũng.

Ví dụ: Lực cắt dọc theo trục Ox sẽ tạo nên sự dịch chuyển Δn âm điện tử ở vùng thung lũng x di chuyển về vùng thung lũng y và z. Điều này dẫn đến 1 sự thay đổi độ dẫn điện. Khi điện trường E song song với lực nén (H.6.21b), sự thay đổi $\Delta\sigma_1$ của độ dẫn điện (hiệu ứng dọc trục):

$$\Delta\sigma_1 = q(-\Delta n\mu_{//} + \Delta n\mu_{\perp}) = q\Delta n(\mu_{\perp} - \mu_{//})$$

và: $\Delta\sigma_1 > 0$ vì $\mu_{\perp} > \mu_{//}$



Hình 6.21: Sơ đồ minh họa sự phân bố điện tử theo lý thuyết vùng thung lũng trong tinh thể silicium N

- a) Không có lực nén;
- b) Lực nén song song với E
- c) Lực nén thẳng góc với E

Khi E thẳng góc với lực nén (H.6.21c), sự thay đổi $\Delta\sigma_t$ của độ dãn điện (hiệu ứng ngang):

$$\Delta\sigma_t = q\left(\frac{\Delta n}{2}\mu_{//} + \frac{\Delta n}{2}\mu_{\perp} - \Delta n\mu_{\perp}\right) = \frac{q}{2}\Delta n(\mu_{//} - \mu_{\perp}) = -\frac{1}{2}\Delta\sigma_1$$

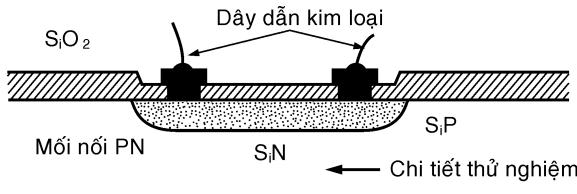
Dưới tác động của lực nén, sự di chuyển của âm điện tử theo hai phương: $\Delta n/2$ âm điện tử đến vùng y và $\Delta n/2$ đến vùng z .

Khi đó ta có hiệu ứng dọc: $\Delta\sigma_l = q\Delta n(\mu_{//} - \mu_{\perp})$

Hiệu ứng ngang: $\Delta\sigma_t = (q/2)\Delta n(\mu_{\perp} - \mu_{//})$

Có hai loại điện trở jauge bán dãn khác nhau là kết quả của hai cách chế tạo. Điện trở jauge dạng cắt cơ khí và điện trở jauge khuếch tán.

Điện trở jauge dạng cắt cơ khí: Có dạng một cọng duy nhất được hình thành nhờ việc cắt cơ khí trong một tinh thể bán dãn silicium.



Hình 6.22: Cấu tạo điện trở jauge bán dãn loại khuếch tán

Kích thước: chiều dài từ vài 10^{-1} mm đến vài mm, dày vài 10^{-2} mm.

Cộng điện trở được đặt trên một đế plastique.

Điện trở jauge khuếch tán: Có được do việc khuếch tán một chất khác vào một phần của chất nền là tinh thể silicium. Điện trở bán dãn jauge loại N có được nhờ khuếch tán một chất thuộc nhóm 5 bảng phân loại tuần hoàn (P, Sb) vào trong chất nền là silicium P. Điện trở bán dãn loại P là kết quả của sự

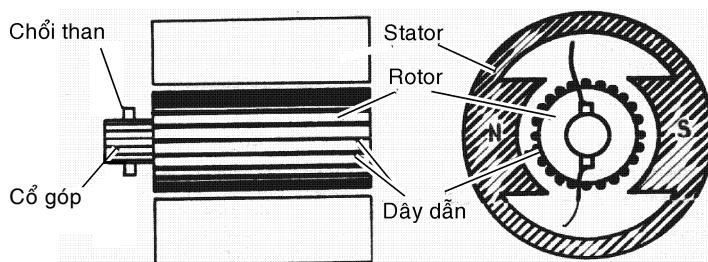
khuếch tán một chất thuộc nhóm 3 (Ga, In) trong chất nền là silicium N. Mỗi nối giữa chất nền và điện trở hình thành một diod mà sự phân cực luôn là phân cực nghịch để tách điện trở jauge ra khỏi chất nền.

Tất cả được che chở bằng một lớp SiO_2 .

Một ứng dụng quan trọng của phương pháp chế tạo khuếch tán là người ta có thể chế tạo cùng lúc bốn điện trở giống nhau trên cùng một nền, chúng được nối với nhau thành cầu Wheatstone, chất nền silicium khi đó được dùng làm chi tiết thử nghiệm.

6.3 CẢM BIẾN ĐO TỐC ĐỘ

Trong kỹ nghệ, đo tốc độ quay thường gấp. Vì lý do an toàn, vận tốc quay của máy phát phải được kiểm soát. Trong trường hợp đo vận tốc dịch chuyển thẳng ta thường quy về việc đo vận tốc quay tròn. Vì thế các cảm biến đo tốc độ quay thường là các cảm biến đo tốc độ góc. Trong kỹ nghệ các cảm biến dùng để đo tốc độ quay dựa trên định luật Faraday: $e = -d\Phi/dt$



Hình 6.23: Cấu tạo tốc độ kế điện từ DC

Khi có một từ thông xuyên qua một mạch điện $\Phi(x) = \Phi_0 F(x)$, x là khoảng dịch chuyển thẳng hay góc. Sự dịch chuyển giữa từ thông (phản cảm) và mạch điện từ thông xuyên qua (phản ứng), tạo nên trong mạch điện sức điện động mà độ lớn tỉ lệ với vận tốc dịch chuyển và như thế tín hiệu ra của cảm biến có dạng: $e = -\Phi_0 \frac{dF(x)}{dx} \cdot \frac{dx}{dt}$. Cảm biến đo tốc độ loại này là cảm biến điện từ. Khi các chuyển động có tính tuần hoàn, ví dụ chuyển động quay tròn như thế, việc đo tốc độ có thể bắt đầu từ việc đo tần số. Đó là loại cảm biến đo dịch chuyển giới hạn hai đầu, mà cảm biến đo đặt cách đối tượng một khoảng cách thay đổi tuần hoàn, và tín hiệu thu được có tần số bằng hoặc là bội số tùy theo cấu tạo của đối tượng và tần số của chuyển động. Ví dụ, trên một đĩa gắn vào trục của chuyển động mà ta muốn đo vận tốc, có trang bị những phần trong suốt và

cản quang xen kẽ nhau sẽ đóng vai trò một cổng điều tiết nguồn sáng nhận được của một bộ phận phân tích quang. Như thế bộ phận phân tích quang sẽ tạo ra những tín hiệu dạng xung có tần số tỉ lệ với vận tốc. Loại tốc độ kể này gọi là tốc độ kế loại xung. Trong trường hợp những chuyển động rất chậm, ví dụ góc quay kém hơn độ/1 giờ, những phương pháp kể trên không thể áp dụng được, khi đó người ta có thể dùng hồi chuyển kế Laser, mà nguyên tắc dựa trên sự khác biệt bước sóng giữa hai sóng từ nguồn phát Laser truyền theo hai chiều ngược nhau trong cùng một môi trường chuyển động quay. Sự khác biệt bước sóng tỉ lệ với vận tốc góc quay và được thể hiện trong giao thoa kế.

6.3.1 Cảm biến đo tốc độ quay loại điện từ

1- Tốc độ kế điện từ loại DC (H.6.23)

Phần đứng hay gọi là phần cảm được cấu tạo bằng vật liệu sắt từ mang 2p cực được hình thành do sự quấn dây trên cực từ hoặc phần cảm là nam châm thường trực. Phần quay hay phần ứng có cấu tạo dạng trụ, do các lá sắt ghép lại, phần ứng có mang những rãnh song song với trục của rotor, trong rãnh có đặt $n = 2K$ dây dẫn, ở hai đầu dây dẫn được nối với cổ góp, cổ góp có dạng trụ cùng trục với rotor. Hai chồi than được bố trí tiếp xúc với cổ góp. Sức điện động thu được có dạng: $E = (\omega/2\pi)n\Phi_o = Nn\Phi_o$,

$$\text{Một cách tổng quát: } E = \frac{\omega}{2\pi} \cdot \frac{p}{a} n\Phi_o$$

trong đó: p - số đôi cực; ω - vận tốc góc

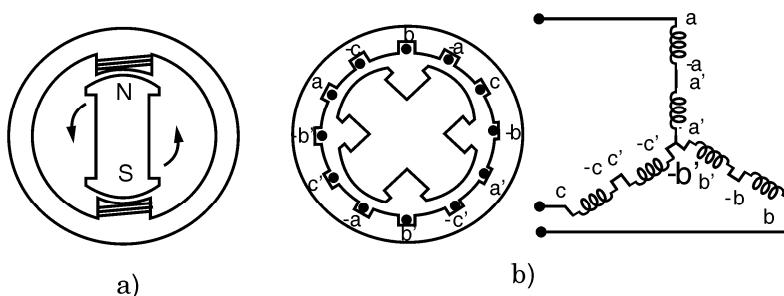
a - số đường quấn song song; n : số dây dẫn

2- Tốc độ kế điện từ loại AC: Loại này có lợi là không có cỗ góp, không có chõi than. Điều này dẫn đến bền hơn, không có giảm điện áp do chõi than, không có nhiễu do tia lửa điện. Ngược lại loại này mạch đo phức tạp hơn, sự xác định độ lớn tín hiệu thường phải chỉnh lưu tín hiệu thu được.

a) *Máy phát đồng bộ (H.6.24):* Đó là máy phát xoay chiều, loại nhỏ. Phần quay được nối với trực mà ta muốn đo tốc độ. Phần quay là một nam châm có hai hoặc nhiều cực. Phần ứng được quấn dây một pha hoặc ba pha. Sức điện động thu được ở stator có dạng:

$$e = Esin\Omega t$$

với: $E = K_I\omega$; $\Omega = K_2\omega$; K_I, K_2 : phụ thuộc vào cấu tạo máy.



Hình 6.24: Máy phát đồng bộ

a) Một pha hai cực; b) Ba pha bốn cực được nối hình sao

Ví dụ về đặc tính của tốc độ kế điện từ (hãng chế tạo Chauvin-Arnoux).

Rotor: Nam châm thường trực ba cặp cực.

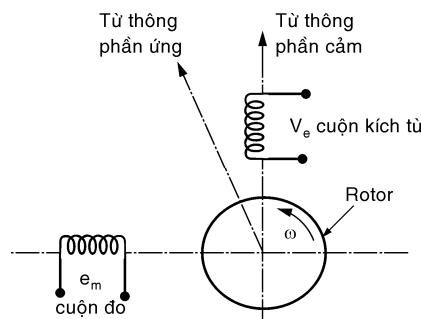
Stator: một pha.

Loại 64: Vận tốc cực đại: 3000v/phút. Điện áp 24V $\pm 1\%$, 50Hz ở 1000v/phút.

Loại 64 GV: Vận tốc cực đại ở 6000v/phút. Điện áp 24 V $\pm 1\%$, 200Hz ở 4000v/phút.

b) *Máy phát không đồng bộ (H.6.25)*

Cấu tạo giống như động cơ không đồng bộ loại một pha. Phần quay có dạng trục bằng vật liệu kim loại không dẫn từ, được kéo với vận tốc góc ω cần đo, rotor có khối lượng nhỏ để giảm quán tính.



Hình 6.25: Nguyên tắc máy phát không đồng bộ

Phần ứng được cấu tạo bằng tole silic ghép thành và mang hai cuộn dây được bố trí thẳng góc nhau, một cuộn dây kích từ được cung cấp tín hiệu V_e , có mạch số ω_e rất vững: $v_e = V_e \cos \omega_e t$

Một cuộn dây đo, nơi đây sẽ thu được một sức điện động e_m , có biên độ tỉ lệ với ω : $e_m = E_m \cos(\omega_e t + \Phi) = K\omega \cdot V_e \cos(\omega_e t + \Phi)$

K - hằng số phụ thuộc vào cấu tạo của máy.

Góc lệch pha Φ thay đổi khoảng vài độ trong phạm vi vận tốc đo. Khi rotor không quay, sẽ xuất hiện một điện áp bé ở hai đầu cuộn dây đo. Hiện tượng này là do công nghệ chế tạo không hoàn toàn đối xứng: sự không đối xứng của rotor hoặc sự bố trí hai cuộn dây không hoàn toàn thẳng góc. Sau đây là vài đặc tính đo lường:

Phạm vi đo: $10 \text{ vòng/phút} \div 2 \times 10^4 \text{ vòng/phút}$

Điện áp đo 1000 vòng/phút : $1 \div 10 \text{ vôn}$

Khoảng cách tuyến tính: $0,1 \div 2\%$ khoảng đo.

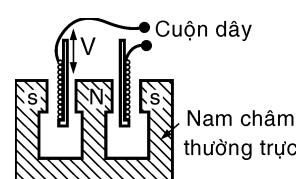
Điện áp lệch: $10 \text{ đến } 100 \text{ mV}$

Momen quán tính của rotor: vài g.cm^2

6.3.2 Tốc độ kế điện tử đo tốc độ thẳng

Trong trường hợp sự dịch chuyển thẳng tương đối lớn ($> m$), việc đo vận tốc thẳng được qui về đo vận tốc góc. Ví dụ nhờ con lăn nhỏ vận tốc di chuyển thẳng của các tấm tole qua con lăn được biến đổi thành vận tốc di chuyển góc của con lăn tỉ lệ với vận tốc thẳng.

Đó là trường hợp vận tốc di chuyển



Hình 6.26: Cấu trúc của cuộn dây và nam châm thường trực

thẳng của tấm tole đi qua máy cán được xác định nhờ vận tốc gốc của rulô. Trường hợp vận tốc góc dịch chuyển bé, một cảm biến điện từ hình thành nhờ một nam châm và một cuộn dây, một trong hai thành phần này cố định, thành phần còn lại được nối liền với đối tượng di động cần xác định vận tốc, sức điện động thu được tỉ lệ với vận tốc dịch chuyển.

Trong trường hợp cuộn dây di chuyển trong vùng từ trường của nam châm, sức điện động thu được từ cuộn dây:

$$e = 2\pi r n BV = l BV$$

trong đó: r - bán kính cuộn dây; n - số vòng dây quấn cuộn dây

V - vận tốc dịch chuyển; B - cảm ứng từ tạo bởi phần cảm.

Đối với sự dịch chuyển cực đại cỡ vài mm, độ nhạy cỡ $\text{vôn}/\text{m/giây}$ và khoảng cách tuyến tính cỡ $\pm 10\%$.



Hình 6.27: Cảm biến loại nam châm di động

a) Cấu tạo; b) Nối giữa các cuộn dây đo

Đối với sự dịch chuyển tương đối lớn, có thể đạt tới 0,5m, lúc đó cảm biến được cấu tạo có nam châm di động.

Sức điện động ứng trong mỗi cuộn dây đo do sự dịch chuyển của nam châm tỉ lệ với vận tốc dịch chuyển và có dấu ngược nhau, đó là lý do tại sao hai cuộn dây được mắc ngược chiều để có sức điện động khác không.

6.3.3 Tốc độ kế loại tín hiệu xung

Chi tiết thử nghiệm thường là một đĩa được gắn lên trục quay mà cần xác định vận tốc góc. Đĩa thường được cấu tạo có dạng tuần hoàn, trên đĩa thường được chia làm p phần bằng nhau, mỗi phần được đánh dấu mang một đặc tính như: lỗ, răng, v.v...

Một cảm biến phân tích được đặt đối diện với chi tiết thử nghiệm, phân tích số phần tử đánh dấu đi ngang qua đồng thời tạo ra một tín hiệu xung tương ứng. Tần số f của tín hiệu xung tạo bởi cảm biến có giá trị:

$$f = p N (\text{Hz})$$

trong đó: N - số vòng quay của chi tiết thử nghiệm trong đơn vị thời gian

p - số phần tử được đánh dấu trên đĩa.

Việc chọn cảm biến được gắn liền với loại vật liệu làm đĩa quay cũng như phần tử đánh dấu trên đĩa. Người ta sử dụng tùy theo trường hợp, hoặc một trong những cảm biến đo sự dịch chuyển giới hạn hai đầu hoặc một cảm biến quang.

Cảm biến từ trở thay đổi đòi hỏi chi tiết thử nghiệm là một đĩa bằng vật liệu sắt từ, mà phần tử đánh dấu là thành phần mạch từ gián đoạn.

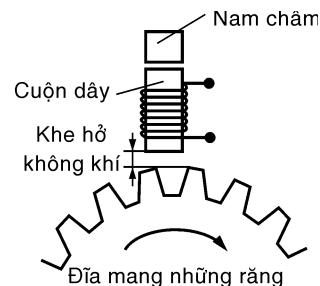
Cảm biến dòng điện Foucault rất nhạy đối với khoảng cách thay đổi của phần tử dẫn điện.

Cảm biến quang và nguồn chiếu sáng cho phép phân tích những phần tử đánh dấu cấu tạo bởi những lỗ, những khe.

Điều lợi của tốc độ kế loại xung bao gồm: một phần do cấu tạo đơn giản, chắc chắn, việc bảo quản dễ dàng. Mặt khác, nó không tạo nên tiếng ồn, nhiễu ký sinh, hơn nữa việc biến đổi thành dưới dạng số rất đơn giản.

a) Cảm biến từ trở thay đổi (H.6.28)

Cuộn dây phân tích có nòng sắt từ cho phép một từ thông xuyên qua nó, tạo ra từ một nam châm thường trực, cuộn dây được đặt đối diện với một đĩa (bằng vật liệu sắt từ). Sự di chuyển của thành phần mạch từ gián đoạn (do cấu tạo phần răng, lỗ), được mang bằng đĩa tạo nên một sự thay đổi tuần hoàn từ trở của mạch từ cuộn dây. Như thế trong cuộn dây sẽ có sức điện động cảm ứng mà tần số tỉ lệ với vận tốc quay.

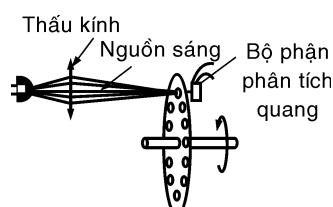


Hình 6.28: Nguyên tắc của toác nổ kế loai tòø trôû thay

Độ lớn của sức điện động tùy thuộc vào khoảng cách giữa cuộn dây và đĩa, và giảm rất nhanh khi khoảng cách tăng, thông thường không vượt quá vài mm, sức điện động còn tỉ lệ với vận tốc quay. Đối với những vận tốc bé độ lớn của sức điện động thu được quá nhỏ và như thế ta gọi là *vùng chết* không thể đo được.

b) Tốc độ kế quang học

Cấu tạo đơn giản, gồm một nguồn sáng và một bộ phận phân tích quang:



Hình 6.29: Nguyên tắc toác nổ kế quang hoïc

Loại Diod quang hoặc transistor quang. Đĩa quay được trang bị những phần trong suốt và ngăn sáng xen kẽ nhau. Đĩa được đặt giữa nguồn sáng và bộ phận phân tích quang.

Bộ phận phân tích quang nhận được một lượng sáng được điều khiển bằng đĩa quay, sẽ tạo ra một tín hiệu điện có tần số tỉ lệ với vận tốc quay, và biên độ độc lập đối với vận tốc. Khoảng đo vận tốc phụ thuộc:

- Số lần gián đoạn trên đĩa (số phần tử đánh dấu trên đĩa: lỗ, khe...).
- Băng thông của bộ phận phân tích và mạch điện đi kèm.

c) **Cảm biến dòng điện Foucault:** Trong cảm biến này, đĩa quay bằng vật liệu không từ tính. Cuộn dây có điện cảm L là một phần tử của mạch dao động sin. Ta biết khi đưa một thanh kim loại đến gần cuộn dây thì đặc tính L và R của cuộn dây thay đổi, điều này dẫn đến sự tắt của mạch dao động. Như thế khi đĩa quay, mỗi lần đĩa đưa phần răng đến đối diện với cuộn dây sẽ làm tắt mạch dao động và điều này có thể phân tích được. Ví dụ bằng việc kiểm soát dòng cung cấp cho mạch dao động. Tín hiệu thu được có tần số tỉ lệ với vận tốc quay và biên độ của nó không phụ thuộc vào vận tốc này, nên không có *vùng chết* và thường dùng để đo những vận tốc quay bé.

6.3.4 Hồi chuyển kế (H.6.30)

Hồi chuyển kế là những thiết bị được gắn trên những phần tử chuyển động (như máy bay, hỏa tiễn), cho phép xác định vận tốc góc của chúng. Tùy theo nguyên lý hoạt động ta có các loại hồi chuyển kế:

Hồi chuyển kế cơ khí: hoạt động dựa trên nguyên tắc con vu quay.

Hồi chuyển kế quang học: loại laser và sợi quang dựa trên hiện tượng truyền sóng.

Hồi chuyển kế loại quang

Nguyên tắc: Khi sóng ánh sáng truyền trong môi trường chuyển động, quang đường truyền sẽ không giống nhau mà phụ thuộc vào phương truyền cùng chiều, hay ngược chiều với chiều chuyển động.

Ví dụ: Có hai gương phẳng M_1 và M_2 đặt cách nhau L , giữa hai gương có sự truyền của sóng ánh sáng. Nếu hai gương đứng yên, quang đường truyền của sóng theo chiều từ $M_1 \rightarrow M_2$ là d_{12} và theo chiều từ $M_2 \rightarrow M_1$ là d_{21} : Ta có $d_{21} = d_{12} = L$.

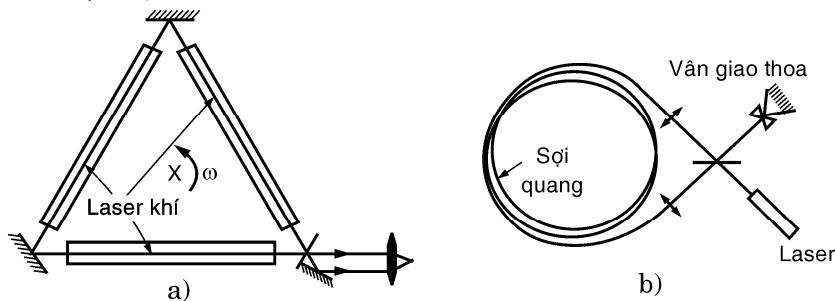
Khi hai gương dịch chuyển với vận tốc là \bar{V} giả sử theo chiều từ $M_1 \rightarrow M_2$, quang đường truyền $d_{12} = L(1 + V/C)$. Với $V \ll C$, C là vận tốc

truyền của ánh sáng, d_{21} sẽ giảm đi: $d_{21} = L(1 - V/C)$.

Sự sai biệt quang đường truyền tỉ lệ với V : $d_{12} - d_{21} = 2L(V/C)$

Khi sự truyền của hai sóng theo hai chiều ngược nhau trên một đường tròn bán kính r , chu vi $2\pi r$ quay với vận tốc góc ω , sự sai biệt quang đường truyền sẽ là: $d_{12} - d_{21} = 2Lr\omega/C$

Cách thực hiện:



Hình 6.30: Hồi chuyển kế quang học

a) Loại Laser; b) Loại sợi quang

Hình 6.30a gồm có một bẫy cộng hưởng Laser đặt trong môi trường chuyển động. Sự truyền của hai sóng theo hai chiều ngược nhau sẽ dẫn đến sự khác biệt quang đường truyền của hai sóng có tần số khác nhau. Sự chồng chập của hai nguồn sáng sẽ cho ta biết khoảng cách Δf của hai sóng (tỉ lệ với vận tốc quay):

$$\Delta f = 4A\omega/L\lambda$$

trong đó: A - diện tích bẫy cộng hưởng; L - chiều dài quang đường

λ - độ dài sóng trung bình của nguồn phát.

Đây là nguyên tắc của hồi chuyển kế Laser đo vận tốc góc rất bé: 10^{-2} độ/giờ

Hình 6.30b: Ở đâu ra cửa sợi quang ta có hiện tượng giao thoa của hai nguồn sáng. Việc đếm số ΔZ vân giao thoa dịch chuyển do vận tốc quay của sợi quang cho phép xác định vận tốc:

$$\Delta Z = 2Lr\omega/\lambda C$$

trong đó: L - chiều dài sợi quang; λ - độ dài sóng Laser.

Với hồi chuyển kế loại sợi quang cho phép tăng L bằng cách thực hiện quấn nhiều vòng sợi quang, điều này cho phép đo vận tốc góc nhỏ hơn hàng trăm lần so với loại laser.

6.4 CẢM BIẾN ĐO LỰC, TRỌNG LƯỢNG

6.4.1 Cảm biến áp điện

Hiệu ứng áp điện bao gồm sự xuất hiện phân cực điện, hoặc sự thay đổi phân cực, đã hiện hữu sẵn trong vài chất điện môi trong thiên nhiên (thạch anh, tourmaline, ...) hoặc nhân tạo (*sulfate de lithium*, *quartz de synthèse* ...). Các tinh thể này khi bị biến dạng dưới tác động của lực theo một phương thích hợp, sẽ dẫn đến sự di chuyển của các điện tích trái dấu nhau về tập trung ở hai bề mặt đối diện. Như thế một hiệu điện áp được hình thành, tỉ lệ với lực áp dụng. Một cảm biến cho phép đo các lực, các đại lượng vật lý khác nhau như áp suất, gia tốc, được gọi là *cảm biến áp điện*.

Đối với chất điện môi, khi áp một điện trường vào sẽ dẫn đến sự di chuyển của các điện tích. Sự xuất hiện và thay đổi các mômen lưỡng cực sẽ kéo theo sự thay đổi kích thước tinh thể. Nếu trong tinh thể chất điện môi có một tâm đối xứng thì hiện tượng xảy ra theo các phương, tỉ lệ bình phương điện trường và được gọi là hiện tượng điện giảo. Nếu mẫu tinh thể không có tâm đối xứng thì sẽ xảy ra hiệu ứng áp điện ngược, biên độ rất lớn so với hiệu ứng điện giảo, mẫu tinh thể, trong trường hợp này có sự phân cực ở mức độ lớn hiện hữu thường xuyên trong vật liệu và sự phân cực này có thể thay đổi do lực tác động (hiệu ứng áp điện) và còn thay đổi do nhiệt độ mà ta gọi là hiệu ứng quang hỏa điện. Tất cả chất quang hỏa điện đều là chất áp điện, nhưng không ngược lại vì chất quang hỏa điện có sự phân cực trước rất lớn.

Tóm lại, các tinh thể tùy theo các thành phần đối xứng của chúng, và các tính chất vật lý, có thể được phân loại như sau:

32 loại tinh thể:

□ 21 loại không có tâm đối xứng, trong đó có 20 loại là chất áp điện gồm:

- * 10 loại không phải chất quang hỏa điện.

- * 10 loại là chất quang hỏa điện

□ 11 loại có tâm đối xứng.

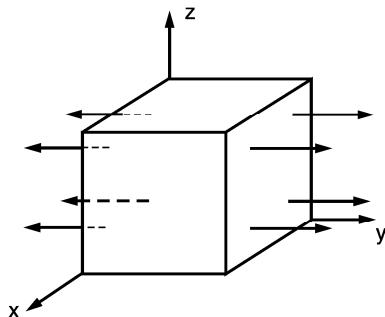
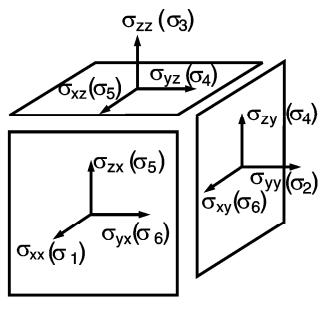
Trong môi trường chất áp điện, cường độ và dấu của hiệu ứng áp điện tùy thuộc:

□ Hướng quan sát, tức vị trí đặt các bề mặt thu điện tích

□ Phương của lực tác động.

a) *Những đại lượng cơ khí*

Một cách tổng quát, những lực nén tác động là kết quả của tổ hợp các thành phần lực dọc trực và bề mặt. Ta để ý thành phần σ_{ij} là thành phần lực trực i ($i = x, y, z$) của lực nén tác động trên đơn vị diện tích của bề mặt thẳng góc trực j ($j = x, y, z$) trong khối vật liệu.



Hình 6.31: Lực nén tác động trên ba bề mặt của một khối tinh thể

Hình 6.32: Lực dọc trực σ_2

Ta có: $\sigma_{ij} = \sigma_{ji}$ và chú ý:

Thành phần dọc trực: $\sigma_{xx} \rightarrow \sigma_1; \sigma_{yy} \rightarrow \sigma_2; \sigma_{zz} \rightarrow \sigma_3$

Thành phần bề mặt: $\sigma_{yz} \rightarrow \sigma_4; \sigma_{zx} \rightarrow \sigma_5; \sigma_{xy} \rightarrow \sigma_6$.

b) Ma trận độ lớn áp điện

Một cách tổng quát, người ta diễn tả hiệu ứng áp điện bởi một ma trận các hệ số với trường bằng 0, các lực ép ($\sigma_1 \rightarrow \sigma_6$) và các điện tích q thu được ở bề mặt thẳng góc với trục Ox, Oy, Oz (hay trục 1, 2, 3)

Ta có:

$$q_1 = d_{11}\sigma_1 + d_{12}\sigma_2 + d_{13}\sigma_3 + \dots + d_{16}\sigma_6.$$

$$q_2 = d_{21}\sigma_1 + d_{22}\sigma_2 + d_{23}\sigma_3 + \dots + d_{26}\sigma_6.$$

$$q_3 = d_{31}\sigma_1 + d_{32}\sigma_2 + d_{33}\sigma_3 + \dots + d_{36}\sigma_6.$$

Hoặc đơn giản: $q_m = d_{mn}\sigma_n$.

Ví dụ: Thạch anh, trong trường hợp này, ta gọi trục 1 là trục điện, trục 2 là trục cơ, trục 3 là trục quang. Ma trận độ lớn áp điện:

$$\begin{vmatrix} d_{11} & -d_{11} & 0 & d_{14} & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & -d_{14} & -2d_{11} \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \end{vmatrix}$$

Ví dụ: Cho mẫu thạch anh có bề dày e , kích thước L và l như hình 6.34 (ta thu điện tích ở bề mặt thẳng góc trục x). Nếu có một lực F_1 theo phương Ox, sẽ xuất hiện điện tích ở hai bề mặt đối diện (thẳng góc trục x):

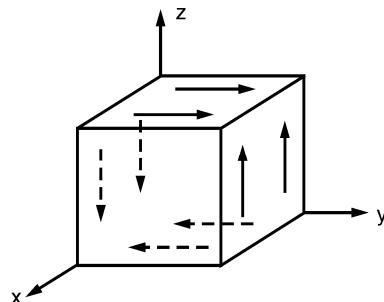
$$q_1 = d_{11}\sigma_1$$

điện tích tổng cộng Q_1 tỉ lệ với lực:

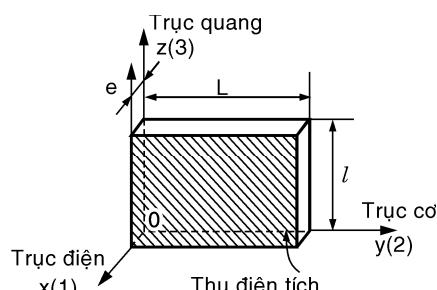
$$Q_1 = Llq_1 = d_{11}F_1.$$

Nếu lực tác động ngang, theo phương y có trị giá F_2 (lực ép $\sigma_2 = F_2/e$), mật độ điện tích bề mặt: $q'_1 = d_{12}\sigma_2 = -d_{11}\sigma_2$

Điện tích tổng cộng: $Q'_1 = Llq'_1 = -d_{11}(L/e)F_2$

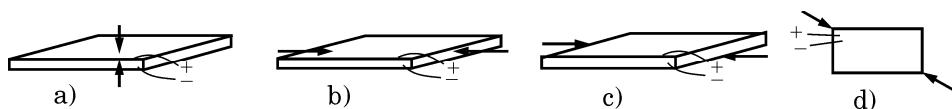


Hình 6.33: Löic beà maët σ_4



Hình 6.34: Maău thaich anh daïng Curie

c) *Cấu tạo cảm biến*

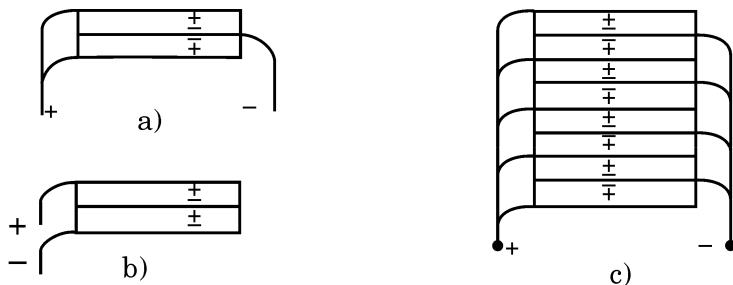


Hình 6.35: Các loại biến dạng của mău tinh thể áp điện

- a) *Biến dạng theo chiều dài;* b) *Biến dạng theo chiều ngang*
- c) *Lực cắt bề dày;* d) *Lực cắt bề mặt*

Sự biến dạng của tinh thể xác định cách hoạt động của cảm biến như hình vẽ trên.

Để tiện sử dụng, chẳng hạn trong cách mắc dây hoặc đơn giản để tăng độ nhạy, một hay nhiều cảm áp điện được ghép với nhau, tùy theo sự phân cực và tùy theo sự biến dạng của cảm biến có thể được ghép với nhau như sau: hai cảm biến ghép song song, hai cảm biến nối tiếp, nhiều cảm biến ghép song song.

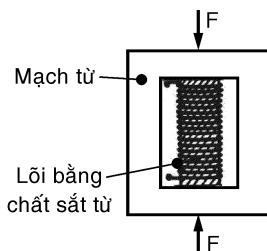


Hình 6.36: a) *Hai cảm biến ghép song song*

- b) *Hai cảm biến ghép nối tiếp;* c) *Nhiều cảm biến ghép song song*

6.4.2 Cảm biến từ giảo

Các vật liệu sắt từ dưới tác động của từ trường sẽ chịu một sự thay đổi cấu trúc hình học (sự thay đổi kích thước có kèm theo hoặc không có thay đổi thể tích, ngẫu lực, lực uốn), và thay đổi cơ (độ lớn Young Y) hiệu ứng từ giảo trực tiếp được dùng trong việc truyền sóng ngắn, ở đó phần tử sắt từ hoạt động cộng hưởng cơ. Một cách hổ tương, những lực ép dưới tác động của lực cần đo sẽ làm thay đổi đường cong nam châm hóa và người ta có thể triển khai sự thay đổi độ



Hình 6.37: *Caûm bieán töø giaûo coù ñieän caûm thay ñoái*

từ thấm hoặc từ dư để đo lực.

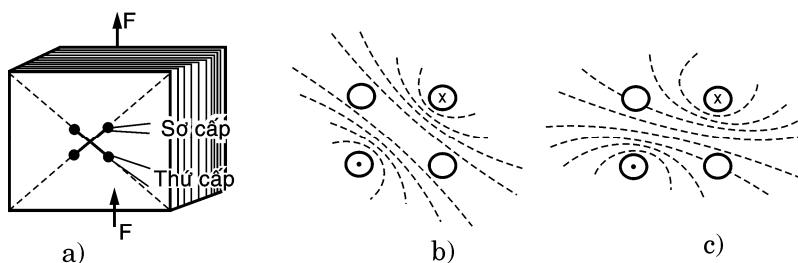
a) Cảm biến có độ từ thấm thay đổi

Cảm biến gồm một cuộn dây có lõi bằng vật liệu sắt từ bị biến dạng bởi lực cần đo. Sự thay đổi $\Delta\mu$ của độ từ thấm của lõi sắt từ có từ trở R xác định độ thay đổi ΔL điện cảm L của cuộn dây:

$$\frac{\Delta\mu}{\mu} = -\frac{\Delta R}{R} = \frac{\Delta L}{L} = k\sigma$$

b) Cảm biến thay đổi độ ghép

Cảm biến gồm một khối vật liệu sắt từ gồm nhiều lá ghép lại, có bốn cửa sổ được bố trí thẳng góc, trên các cửa sổ có bố trí hai cuộn dây sơ và thứ. Các cuộn dây bố trí 45° so với phương của lực tác dụng, độ từ thấm của vật liệu đồng nhất. Ví dụ đối với permalloy khi có lực tác động dọc trực, kết quả là giảm độ từ thấm theo phương của lực nén, và một sự gia tăng độ từ thấm theo phương ngang. Sự đổi xứng của đường từ sức không còn nữa, một tín hiệu xuất hiện ở cuộn thứ cấp khi cuộn sơ cấp được cung cấp tín hiệu, biên độ tín hiệu tỉ lệ với lực cần đo, một góc lệch pha giữa sơ và thứ cho biết chiều của lực.



Hình 6.38: Cảm biến từ giảo loại thay đổi độ ghép

a) Cấu tạo; b) Đường sức của cảm ứng từ của cảm biến khi không có lực tác động; c) Khi có lực tác động

c) Cảm biến từ dư thay đổi

Mặc dù có sự thay đổi đường cong nam châm hóa, với sự thay đổi B tương đối lớn dưới tác động của lực, người ta vẫn thích đo sự thay đổi từ dư vì lý do việc đo từ dư thay đổi thì ổn định và đơn giản. Ta xem một cuộn dây có nòng sắt bằng vật liệu nickel, hiện hữu từ dư Br , dưới tác động của lực cần đo, ví dụ lực ép ($d\sigma < 0$), Br gia tăng, ta có:

$$dBr/d\sigma = -1,5 \times 10^{-9} \text{ Wb.m}^{-2}/\text{N.m}^{-2}$$

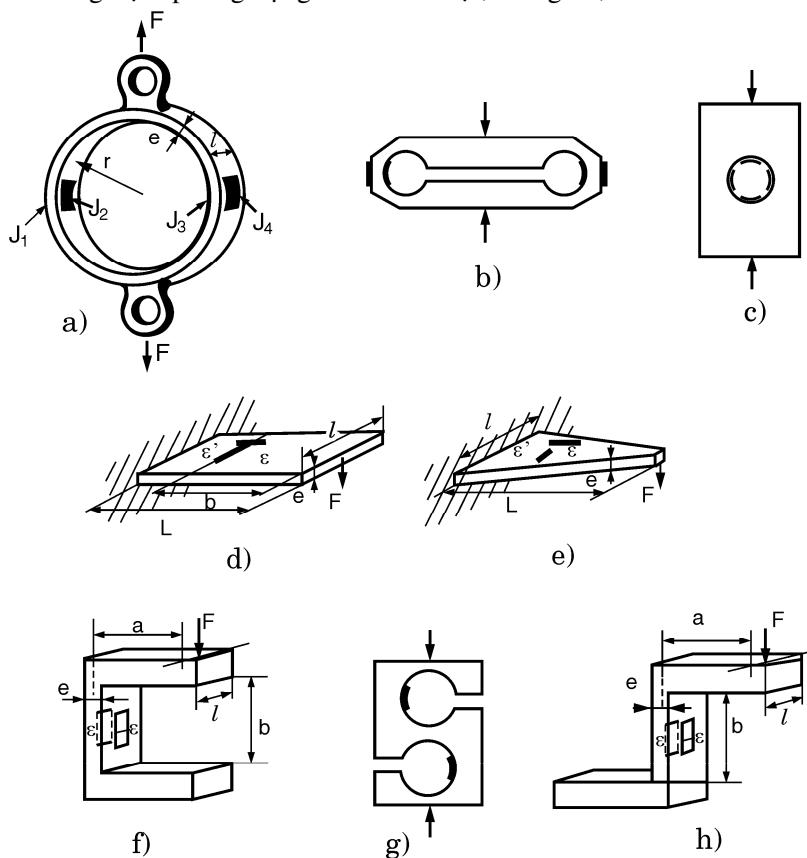
Sự thay đổi từ thông dẫn đến cảm ứng một sức điện động trong cuộn dây tỉ lệ với dBr/dt , điện áp đo được khi mạch hở:

$$V_m = K \frac{dBr}{dt} = K \frac{dBr}{d\sigma} \cdot \frac{d\sigma}{dt}$$

K: hệ số tỉ lệ phụ thuộc số vòng dây và tiết diện của dây.

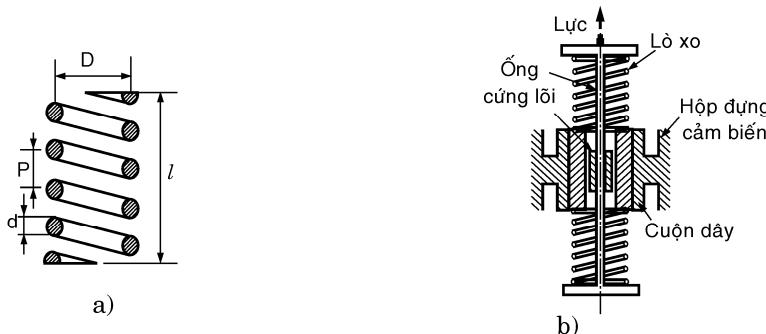
6.4.3 Cảm biến điện trở jauge

Cảm biến này đo lực, lực đo (đại lượng sơ cấp) tác động trên chi tiết thử nghiệm, dưới tác dụng của lực cắt, nén, uốn cong dẫn đến sự biến dạng (đại lượng thứ cấp) được biến đổi thành tín hiệu nhờ điện trở jauge đặt trên chi tiết thử nghiệm, các điện trở jauge được nối dây hình thành cầu Wheatstone. Các chi tiết thử nghiệm có nhiều dạng khác nhau như dạng nhẫn động lực tròn, các chi tiết thử nghiệm phẳng dạng hình chữ nhật, tam giác, v.v...



Hình 6.39: Các dạng chi tiết thử nghiệm được dùng để đo lực

6.4.4 Cảm biến đo lực bằng sự dịch chuyển

**Hình 6.40:** a) Lò xo hélice

b) Cảm biến đo lực dùng lò xo hélice + biến áp vi sai

Lực tác động cần đo sẽ tác dụng lên chi tiết thử nghiệm làm thay đổi kích thước Δl , sự thay đổi này được đo nhờ một cảm biến đo sự dịch chuyển, V_m là tín hiệu thu được:

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

$\frac{V_m}{\Delta l}$: tỉ số biến đổi của cảm biến vị trí

$\frac{\Delta l}{F}$: tỉ lệ nghịch với độ cứng, gọi là độ mềm của chi tiết thử nghiệm

Độ mềm lớn sẽ tăng độ nhạy, tuy nhiên sẽ giảm độ tinh. Những cảm biến loại này thường dùng để đo những lực tương đối yếu, chi tiết thử nghiệm phải có độ mềm lớn. Những chi tiết thử nghiệm thường dùng là: nhẫn động lực, lò xo hélice.

Cảm biến đo sự dịch chuyển: tùy theo điều kiện sử dụng, những loại cảm biến sau đây được sử dụng:

- Biến trở đo lưỡng có trang bị cần khuếch đại cơ sự dịch chuyển
- Cảm biến điện cảm loại từ trở thay đổi, hoặc biến áp vi sai
- Cảm biến điện dung.

Ví dụ về cách thực hiện và đặc tính đo lưỡng:

Cảm biến FTA-G-1 K: Dùng lò xo hélice + biến áp vi sai (H.6.40). Khoảng đo: ± 1 daN.

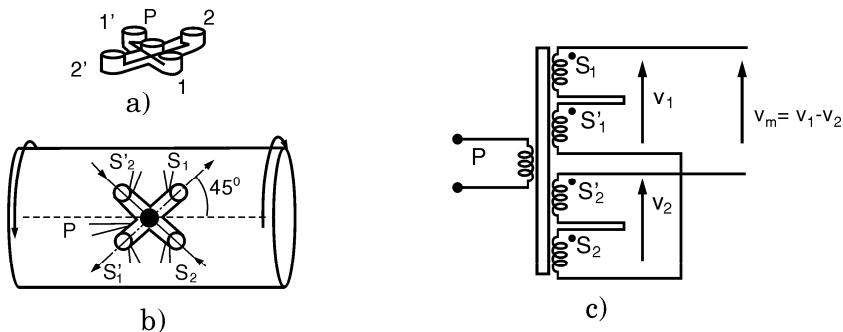
Độ lớn tín hiệu ra tương ứng với giá trị thang đo: 1,1V hiệu dụng (tương ứng nguồn kích thích 5V, 2,5 kHz). Độ chính xác: $\pm 0,25\%$

6.5 CẢM BIẾN ĐO NGẦU LỰC

1- Đo ngẫu lực dùng hiệu ứng từ giảo

Khi cho lực tác dụng lên vật liệu sắt từ sẽ kéo theo sự thay đổi độ từ thẩm μ . Ví dụ: μ gia tăng trong vùng kéo dài ra và giảm đi trong vùng nén lại. Nếu một thanh sắt từ hình trụ chịu tác động của ngẫu lực và mômen có phương trùng với trục sắt từ thì kết quả lực tác động gồm hai thành phần thẳng góc nhau tạo thành góc 45° so với trục hình trụ và dọc theo chúng những từ thẩm μ_1 và μ_2 thay đổi cực đại có dấu ngược nhau. Để phân tích sự thay đổi này, người ta có thể sử dụng một lõi hình chữ thập trên có bố trí cuộn dây sơ cấp p và hai cặp cuộn dây thứ cấp S_1 và S'_1 nối tiếp, S_2 và S'_2 nối tiếp, hai cặp này mắc xung đối. Khi không có ngẫu lực thì $\mu_1 = \mu_2$, $v_1 = v_2$, $v_m = 0$.

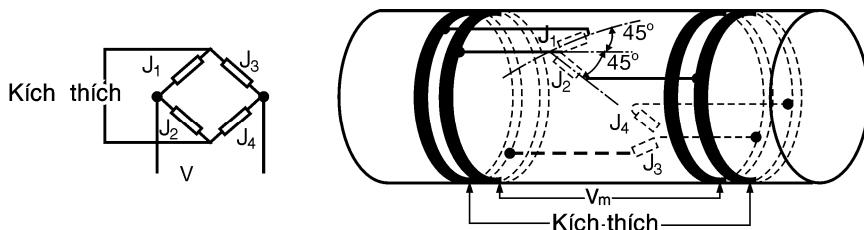
Khi ngẫu lực có phương như hình vẽ thì $\mu_1 > \mu_2$, $v_1 > v_2 \Rightarrow v_m > 0$



Hình 6.41: Đo ngẫu lực dùng hiệu ứng từ giảo

- a) Dạng lõi sắt mang các cuộn dây
- b) Cách bố trí; c) Mạch điện tương đương

2- Đo ngẫu lực dùng biến trở biến dạng



Hình 6.42: Thiết bị đo ngẫu lực dùng cầu điện trở

jauge + chi tiết thử nghiệm dạng trụ

- a) Nguyên tắc; b) Vị trí đặc các điện trở Jauge J_1, J_2, J_3, J_4

Khi chi tiết thử nghiệm có dạng trụ, các điện trở jauge được đặt ở vị trí tạo thành một góc 45° so với trục hình trụ như hình 6.42. Ta có trong trường

hợp chi tiết thử nghiệm dạng hình trụ đặc bán kính R , độ cứng G , mômen xoắn τ , sự biến dạng sẽ là: $\varepsilon = \pm \tau / \pi R^3 G$

Điện trở jauge được mắc thành cầu Wheatstone nhằm mục đích:

- Sự tuyến tính của cầu đo.
- Độ nhạy cao.
- Sự bù trừ những lực nhiễu.

6.6 ĐO GIA TỐC, ĐỘ RUNG VÀ SỰ VA CHẠM

- Khái niệm tổng quát

Theo định luật tổng quát về cơ, gia tốc diễn tả sự liên hệ giữa lực và khối lượng. Các cảm biến đo gia tốc dựa trên định luật vật lý này và từ sự liên hệ này người ta thu được một tín hiệu điện.

Các cảm biến đo gia tốc được phân loại theo nguyên lý hoạt động của cảm biến và có thể đo trực tiếp lực tác động (cảm biến áp điện, cảm biến cân bằng ngẫu lực) hoặc đo gián tiếp bởi sự dịch chuyển hoặc biến dạng của chi tiết thử nghiệm.

- Nguyên tắc gia tốc kế chấn động (H.6.43)

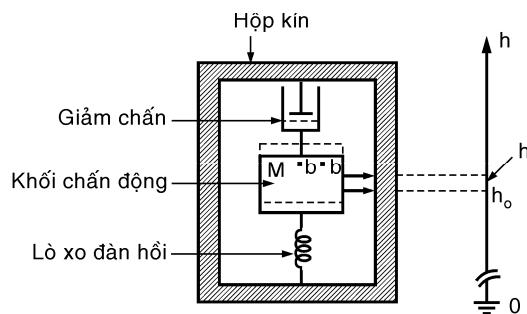
□ Một khối chấn động M được nối với hộp kín nhờ một bộ phận cơ (tinh thể áp điện, lò xo, thanh mỏng)

- Sự dịch chuyển của khối chấn động biến đổi thành tín hiệu điện.

1- Gia tốc kế áp điện

Nguyên tắc hoạt động: Trong loại này, khối chấn động được đặt trên một cái đế bằng chất áp điện, như thế sẽ tạo ra tín hiệu điện tỉ lệ với lực đàn hồi do sự dịch chuyển của khối chấn động, tất cả được cấu tạo chắc chắn và được đặt trong một cái hộp kín.

Một cách tổng quát, các gia tốc được đo theo hai chiều dọc theo phương cảm ứng của cảm biến. Và nhờ sự liên kết cơ khí, lực tác động trên cảm biến có thể là: lực nén, lực cắt, lực kéo và thường cảm biến chịu tác động của một lực trước nhằm nới rộng thang đo gia tốc theo hai chiều. Người ta phân các cảm biến này theo tên gọi của lực tác động lên cảm biến.

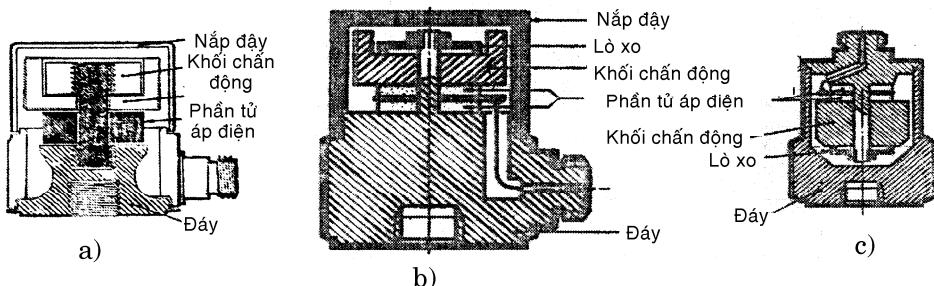


Hình 6.43: Nguyên tắc của gia tốc kế chấn động

a) Gia tốc kế áp điện loại nén.

Những đặc tính riêng của cảm biến loại này:

- Tần số cộng hưởng khá cao.
- Cấu tạo chắc chắn.
- Nhạy đối với hiệu ứng áp điện cho nên cần thiết trang bị phương tiện bù trừ khi điều kiện sử dụng không như mong muốn.

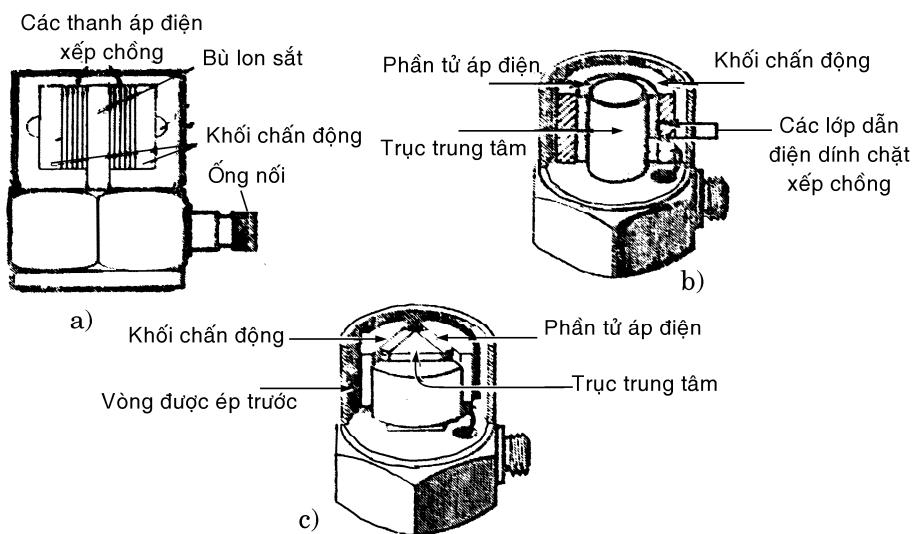


Hình 6.44: Các kiểu gia tốc kế áp điện loại nén

b) Gia tốc kế áp điện loại cắt

Các gia tốc kế loại này được cấu tạo:

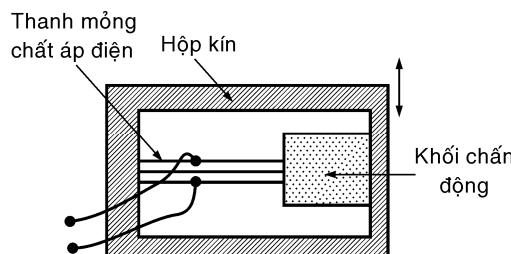
- Gồm một chồng các thanh áp điện được kết nối bằng bùlon giữa hai miếng kim loại dùng làm khối chấn động (H.6.45a).
- Gồm một phần tử áp điện có dạng hình nhẫn (H.6.45b) hoặc dưới dạng nhiều phần tử phẳng chịu tác động của lực của khối chấn động và trực trung tâm (H.6.45c).



Hình 6.45: Các kiểu gia tốc kế áp điện lực cắt

c) Gia tốc kế áp điện hình cái phản.

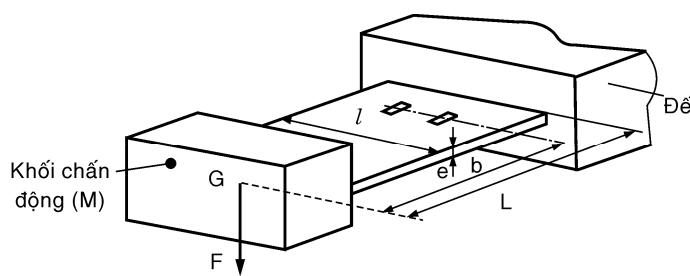
Trong loại này, người ta sử dụng một cặp thanh mỏng chất áp điện gắn chặt vào nhau, một đầu thanh mang khối chấn động như hình 6.46.



Hình 6.46: Nguyên tắc gia tốc kế áp điện hình cái phẩn

2- Gia tốc kế điện trở piézo

Nguyên tắc: Khối chấn động M được gắn với một thanh đòn hồi trên đó có bốn trí hai hay bốn điện trở biến dạng được mắc thành cầu Wheatstone. Sự uốn cong của thanh đòn hồi sẽ dẫn đến sự biến dạng của điện trở jauge một cách trực tiếp (gia tốc kế tần số thấp) hoặc gián tiếp nhờ kết hợp với bộ khuếch đại cơ (gia tốc kế tần số trung bình).



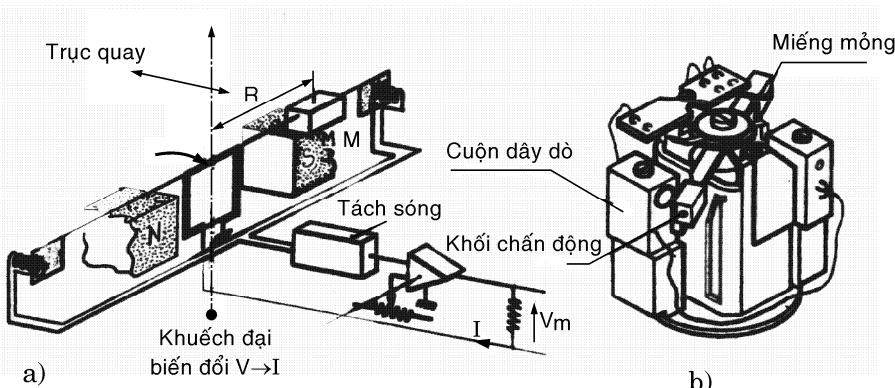
Hình 6.47: Nguyên tắc gia tốc kế điện trở piézo

3- Gia tốc kế thích nghi

Trong loại này người ta dùng lực đàn hồi của khối chấn động tạo ra tín hiệu điện: Sự di chuyển của khối chấn động dưới sự tác động của lực khi đo sẽ tạo nên một phản ứng chống lại nó làm giảm thiểu sự dịch chuyển. Khi cân bằng, tín hiệu điện (dòng điện) là nguồn gốc của tác động bù trừ, cho ta kết quả đo gia tốc, đặc tính của loại cảm biến này là:

- Độ chính xác cao
- Băng thông: Từ vài Hz đến vài trăm Hz
- Tín hiệu ra khá cao: vài mA
- Giá thành cao, đắt vỡ.

* *Gia tốc kế thích nghi cân bằng ngẫu lực (H.6.48).*



Hình 6.48: Gia tốc kế thích nghi cân bằng ngẫu lực

a) Nguyên tắc; b) Cách thực hiện

Một khung quay rất nhẹ giống như khung quay trong cơ cấu đo từ điện (điện kế) được treo trong vùng từ trường nhờ một giá đỡ có độ ma sát rất bé, về một phía của khung có gắn một khối chấn động để đo. Dưới tác động của lực quán tính tạo ra do gia tốc, khối chấn động di chuyển và kéo theo khung quay chuyển động.

Khung được trang bị hai miếng mỏng ở hai bên hoàn toàn cân bằng di chuyển trước mặt hai cuộn dây được cung cấp bởi một nguồn xoay chiều có tần số cao (lối 1MHz). Khi khung quay di chuyển, hai miếng mỏng di chuyển trước mặt hai cuộn dây, điện cảm của chúng thay đổi, như thế điện áp hai cuộn dây thay đổi. Điện áp này được chỉnh lưu và so sánh với một điện áp chuẩn, khoảng cách điện áp được khuếch đại và biến đổi thành dòng điện I chạy trong mạch khung quay và tạo ra một ngẫu lực kháng Cr :

$$Cr = KI$$

với: K - hệ số tỉ lệ với cảm ứng từ và số vòng dây quấn của khung.

Khi cân bằng ngẫu lực kháng Cr bù trừ ngẫu lực C_m tạo bởi lực quán tính. Khi góc quay bé, ta có:

$$C_m = M\gamma R$$

với: M - khối chấn động; R - bán kính chuyển động; γ - gia tốc cần đo.

$$\Rightarrow KI = M\gamma R \Rightarrow I = K_1\gamma \text{ với } K_1 = MR/K$$

Dòng điện tỉ lệ với gia tốc cần đo, giá trị này biết được bằng cách bố trí một điện trở nối tiếp trong mạch cung cấp cho khung quay và đo điện áp xuất hiện ở hai đầu điện trở.

Chương 7

ĐO NHIỆT ĐỘ

7.1 THANG ĐO NHIỆT ĐỘ

7.1.1 Những thang đo nhiệt độ khác nhau

Gồm các thang đo Celcius ($^{\circ}\text{C}$), thang đo Fahrenheit ($^{\circ}\text{F}$), thang đo Kelvin ($^{\circ}\text{K}$), thang đo Rankin ($^{\circ}\text{R}$).

$$\text{T}({}^{\circ}\text{C}) = \text{T}({}^{\circ}\text{K}) - 273,15 \quad \text{T}({}^{\circ}\text{F}) = \text{T}({}^{\circ}\text{R}) - 459,67$$

$$\text{T}({}^{\circ}\text{C}) = [\text{T}({}^{\circ}\text{F}) - 32](5/9) \quad \text{T}({}^{\circ}\text{F}) = (9/5)\text{T}({}^{\circ}\text{C}) + 32$$

7.1.2 Sự liên hệ giữa các thang đo ở những nhiệt độ quan trọng

Kelvin ($^{\circ}\text{K}$)	Celcius ($^{\circ}\text{C}$)	Rankin ($^{\circ}\text{R}$)	Farenheit ($^{\circ}\text{F}$)
0	- 272,15	0	- 459,67
273,15	0	491,67	32
273,16	0,01	491,69	32,018
373,15	100	671,67	212

7.2 ĐO NHIỆT ĐỘ BẰNG ĐIỆN TRỞ

7.2.1 Độ nhạy nhiệt

Một cách tổng quát giá trị điện trở tùy thuộc vào nhiệt độ T:

$$R(T) = R_o \cdot F(T - T_o)$$

R_o : là điện trở ở nhiệt độ T_o và hàm F phụ thuộc vào đặc tính của vật liệu, có giá trị là 1 khi $T = T_o$. Như thế ta có:

Đối với điện trở kim loại: $R(T) = R_o(1 + AT + BT^2 + CT^3)$

T: tính bằng $^{\circ}\text{C}$, $T_o = 0^{\circ}\text{C}$.

Đối với nhiệt điện trở bằng oxyde bán dẫn:

$$R(T) = R_o \exp\left[B\left(\frac{1}{T} - \frac{1}{T_o}\right)\right]$$

T: nhiệt độ tuyệt đối (°K).

Những hệ số trong công thức tính điện trở R thường được biết trước một cách chính xác nhờ đo giá trị điện trở R ở nhiệt độ biết trước.

Với sự thay đổi nhỏ ΔT của nhiệt độ chung quanh giá trị T , định lý tổng quát về sự thay đổi điện trở có thể được tuyển tính hóa:

$$R(T + \Delta T) = R(T) \cdot (1 + \alpha_R \cdot \Delta T)$$

với: $\alpha_R = [1/R(T)] dR/dT$; α_R : là hệ số phụ thuộc nhiệt độ của điện trở hay còn gọi là độ nhạy nhiệt độ ở nhiệt độ T , α_R tùy thuộc nhiệt độ và vật liệu.

Ví dụ ở 0°C đối với platine $\alpha_R = 3,9 \times 10^{-3}/^{\circ}\text{C}$. Đối với một vài loại nhiệt điện trở $\alpha_R = 5,2 \times 10^{-2}/^{\circ}\text{C}$.

Nếu ta đo nhiệt độ có giá trị chung quanh độ 0°C nhờ cầu đo Wheatstone mà một trong những nhánh cầu đo được cấu tạo bởi điện trở đo nhiệt và ba nhánh còn lại được mắc bởi ba điện trở cố định có giá trị bằng nhau R_o tức giá trị điện trở đo nhiệt ở nhiệt độ 0°C thì:

$$\text{Điện áp lệch của cầu: } V_m = \frac{E_S}{4} \cdot \frac{\Delta R}{R_o} = \frac{E_S}{4} \alpha_R \Delta T$$

Với: $E_S = 2V$; $\Delta T = 1^{\circ}\text{C}$ $\Rightarrow V_m = 1,9mV$ đối với điện trở platine.

$V_m = 26mV$ đối với nhiệt điện trở.

Lưu ý: những giá trị này lớn hơn so với trường hợp cặp nhiệt điện:

Fer/constantan: $V_m = 0,05mV$

Pt – Rh (10%)/Pt: $V_m = 0,005mV$

Đặc tính của máy đo ấn định một giá trị điện trở thay đổi tối thiểu có thể đo được: $(\Delta R/R_o) \text{ min.}$

Kết quả là một giá trị tối thiểu nhiệt độ có thể đo được:

$$\Delta T_{\min} = \left(\frac{1}{\alpha_R} \cdot \frac{\Delta R}{R_o} \right) \text{ min}$$

Đối với trường hợp: $(\Delta R/R_o) \text{ min} = 10^{-6}$ và đo nhiệt độ có giá trị gần 0°C, ta có:

Đối với điện trở platine: $\Delta T_{min} = 2,6 \times 10^{-4}^{\circ}\text{C}$.

Đối với nhiệt điện trở: $\Delta T_{min} = 2,0 \times 10^{-5}^{\circ}\text{C}$.

Sự thay đổi của điện trở theo nhiệt độ, về nguyên lý liên quan đến sự thay đổi điện trở suất ρ và kích thước hình học của điện trở, đối với dây điện trở hình trụ (chiều dài l , tiết diện S), ta có:

$$\alpha_R = \frac{1}{R} \cdot \frac{dR}{dT} = \frac{1}{\rho} \cdot \frac{d\rho}{dT} + \frac{1}{l} \frac{dl}{dT} - \frac{1}{S} \frac{dS}{dT}$$

với: $\frac{1}{\rho} \frac{d\rho}{dT} = \alpha_\rho$: hệ số nhiệt độ của điện trở suất của vật liệu

$\frac{1}{l} \frac{dl}{dT} = \alpha_l$ và $\frac{1}{S} \frac{dS}{dT} = 2\alpha_l$, α_l : hệ số giãn nở dài của vật liệu

Kết quả: $\alpha_R = \alpha_\rho - \alpha_l$.

Trong phạm vi sử dụng điện trở, α_ρ cõ $10^{-3}/^{\circ}\text{C}$ trong khi α_l cõ $10^{-5}/^{\circ}\text{C}$.

Trong những điều kiện thực tế $\alpha_R \approx \alpha_\rho$.

7.2.2 Điện trở kim loại

1- Những tiêu chuẩn để chọn vật liệu

Tùy thuộc vào phạm vi đo nhiệt độ mà người ta chọn vật liệu thích hợp, người ta thường sử dụng điện trở bằng bạch kim, nickel và đôi khi bằng đồng hay tungstene.

Bạch kim: có thể cấu tạo rất tinh khiết (99,999%) điều này cho phép ta biết được đặc tính điện của nó một cách chính xác và không thay đổi. Nó thường sử dụng ở nhiệt độ từ -200°C đến 1000°C .

Nickel: có ưu điểm là độ nhạy nhiệt rất cao, từ 0°C đến 100°C điện trở của nó được nhân cho 1,617 trong khi bạch kim được nhân với 1,385. Nickel chống lại sự oxyde hóa, thường được dùng ở nhiệt độ nhỏ hơn 250°C .

Đồng: được sử dụng vì đặc tuyến rất tuyến tính của sự thay đổi điện trở theo nhiệt. Tuy nhiên vì phản ứng hóa học nên không cho phép sử dụng ở nhiệt độ lớn hơn 180°C , và vì điện trở suất bé, nên khi dùng để đảm bảo có giá trị điện trở nhất định, chiều dài dây phải lớn gây nên một sự cồng kềnh bất tiện.

Tungstene: Có độ nhạy nhiệt của điện trở lớn hơn bạch kim trong trường hợp nhiệt độ cao hơn 100°K và nó thường được sử dụng ở nhiệt độ cao hơn bạch kim với độ tuyến tính hơn bạch kim. Tungstene có thể cấu tạo dưới dạng những sợi rất mảnh cho phép chế tạo điện trở cảm biến có trị số lớn, như vậy với trị

số điện trở cho trước, chiều dài dây sẽ giảm thiểu.

Sau đây là một số đặc tính vật lý của các kim loại nói trên:

	Đồng	Nickel	Bạch kim	Tungstène
Tf ($^{\circ}\text{C}$)	1083	1453	1769	3380
C ($\text{J}^{\circ}\text{C}^{-1}\text{Kg}^{-1}$)	400	450	135	125
λ_t ($\text{W}^{\circ}\text{C}^{-1}\text{m}^{-1}$)	400	90	73	120
α_l ($^{\circ}\text{C}^{-1}$)	$16,7 \cdot 10^{-6}$	$12,8 \cdot 10^{-6}$	$8,9 \cdot 10^{-6}$	$6 \cdot 10^{-6}$
ρ (Ωm)	$1,72 \cdot 10^{-8}$	$10 \cdot 10^{-8}$	$10,6 \cdot 10^{-8}$	$5,52 \cdot 10^{-8}$
α_p ($^{\circ}\text{C}^{-1}$)	$3,9 \cdot 10^{-3}$	$4,7 \cdot 10^{-3}$	$3,9 \cdot 10^{-3}$	$4,5 \cdot 10^{-3}$

C - tỉ nhiệt ở 20°C ; λ_t - hệ số dẫn nhiệt; α_l - hệ số dẫn nở dài

ρ - điện trở suất; α_p - hệ số nhiệt độ của điện trở suất ở 20°C .

2-Thực hiện đầu dò của nhiệt kế

Trị giá của điện trở và kích thước của dây điện trở: một cách tổng quát sự thay đổi điện trở do nhiệt $\Delta R = R\alpha_R \Delta T$ tạo ra điện áp đo:

$$V_m = \Delta R \cdot i$$

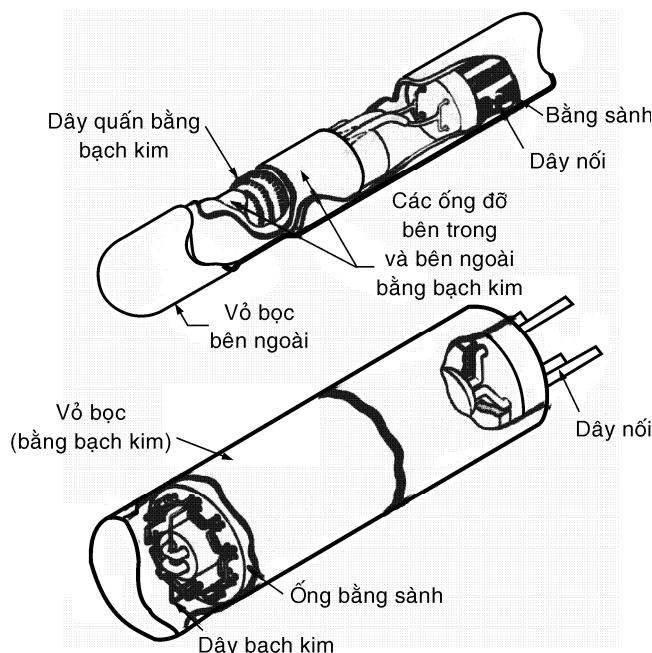
i là dòng điện trong mạch đo có trị số giới hạn vài mA để giảm thiểu sự đốt nóng đầu dò. Như vậy để có được độ nhạy tốt, người ta phải sử dụng điện trở có trị số tương đối lớn, điều này giải thích:

□ Một sự giảm thiểu tiết diện dây điện trở, và được giới hạn bằng sự mỏng manh dễ bị đứt khi kéo.

□ Một sự gia tăng chiều dài của dây và được giới hạn bằng sự choán chỗ.

Thông thường để điện trở có trị số 100Ω ở nhiệt độ 0°C , trong trường hợp bạch kim, đường kính dây có trị số vài chục microns và chiều dài dây vào khoảng hàng chục cm. Sau khi quấn dây, chiều dài đầu dò vào cỡ vài cm. Trên thị trường đầu dò điện trở ở 0°C có trị số là 50Ω , 500Ω , 1000Ω những giá trị điện trở cao được dùng trong trường hợp nhiệt độ đo thấp để có độ nhạy cao.

Đầu dò thả chìm: Được bố trí thả chìm trong môi trường muốn đo nhiệt độ và có cấu tạo quấn dây dạng hélice. Cách quấn dây này có thể tạo nên dạng không có điện cảm nhằm mục đích cho phép đo dòng điện AC và giảm thiểu những điện cảm ký sinh.



Hình 7.1: Các điện trở mẫu bằng bạch kim

Những thông số chú ý khi thực hiện đầu dò như sau:

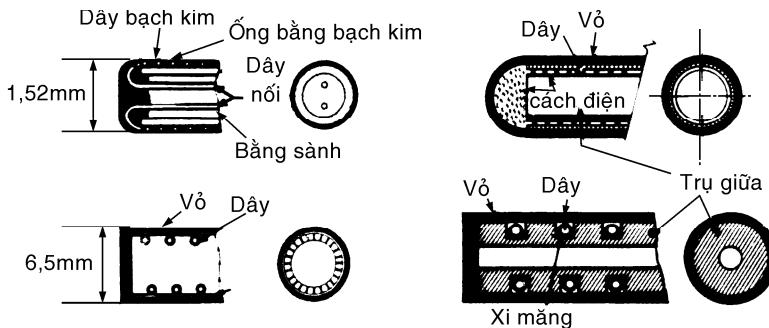
- Nối rộng phạm vi đo nhiệt độ
- Bảo vệ chống lại sự ăn mòn hóa học
- Bảo vệ chống lại sự rung động và va chạm

Sự khác nhau về hệ số tản nhiệt của điện trở kim loại và vật liệu làm giá đỡ cảm biến làm thay đổi độ nhạy nhiệt của điện trở.

- Vận tốc đáp ứng càng nhanh khi lượng calo của đầu dò càng bé.

Đối với những điện trở bạch kim sử dụng làm điện trở mẫu, những điểm 1, 2 và 4 là những điều kiện đầu tiên bởi vì những điện trở này được sử dụng để đo trong những điều kiện được che chở chống rung và va chạm. Dây điện trở được quấn trên lõi cách điện (thạch anh, alumine). Dây quấn được đặt trong một vỏ bằng thép kín, dây ra đi qua môi trường cách điện. Vỏ được chứa đầy một loại gaz hóa học, dẫn điện tốt (ví dụ hélium).

Đối với kỹ nghệ, sự cần thiết bảo vệ hữu hiệu chống rung và va chạm, điện trở được thực hiện bọc kín trong thủy tinh hoặc sứ và được đặt trong một vỏ thép kín.



Hình 7.2a: Các đầu dò trong kỹ nghệ dùng điện trở bạch kim

7.2.3 Nhiệt điện trở

Đặc tính đầu tiên của loại điện trở này là độ nhạy nhiệt rất cao, vào khoảng 10 lần điện trở kim loại. Mặt khác hệ số nhiệt độ có giá trị âm, và tùy thuộc vào nhiệt độ.

Chúng được cấu tạo từ hỗn hợp các oxyde kim loại như: MgO, MgAl₂O₄, Mn₂O₃, Fe₃O₄, CO₂O₃, NiO, ZnTiO₄.

Những oxyde kim loại bán dẫn ở dạng bột được nén lại dưới áp suất và được nung lên ở nhiệt độ khoảng 1000°C có áp suất kiểm soát được. Những nhiệt điện trở được cấu tạo dưới các dạng: dĩa, trụ, nhẫn v.v... phần tử cảm biến có thể được che chở hoặc không, bằng cách được cấu tạo dạng kín hoặc có vỏ bọc. Các vật liệu có điện trở suất lớn cho phép chế tạo những điện trở đo có kích thước điện trở bé (cỡ mm), kết quả:

Điện trở có kích thước bé cho phép đo nhiệt độ chính xác.

Một lượng calo bé khiến cho vận tốc đáp ứng cao.

Sự ổn định của nhiệt điện trở tùy thuộc vào việc chế tạo và những điều kiện sử dụng. Dạng điện trở kín hay dạng có vỏ bọc cho phép che chở chống lại sự ăn mòn hóa học và gia tăng sự ổn định. Phạm vi sử dụng nhiệt điện trở, tùy theo loại từ vài độ tuyệt đối đến lối 300°C. Trên thị trường các nhiệt điện trở có trị số thay đổi từ 500□ đến vài chục M□ ở 25°C.

7.2.4 Điện trở silicium

Loại điện trở bán dẫn này được phân biệt với nhiệt điện trở bởi những điểm sau:

- Hệ số nhiệt độ của điện trở suất có trị giá dương, vào khoảng $0,7 \times 10^{-2} / ^\circ C$ ở 25°C, và sự thay đổi theo nhiệt độ của hệ số nhiệt độ rất bé điều này cho phép chế tạo cảm biến có tính tuyến tính cao.

- Phạm vi sử dụng giới hạn trong khoảng $-50^{\circ}\text{C} \div 120^{\circ}\text{C}$, các điện trở loại này thường là loại bán dẫn N được chế tạo bởi phương pháp planar: cho khuếch tán chất khác vào tinh thể đơn chất silicium.

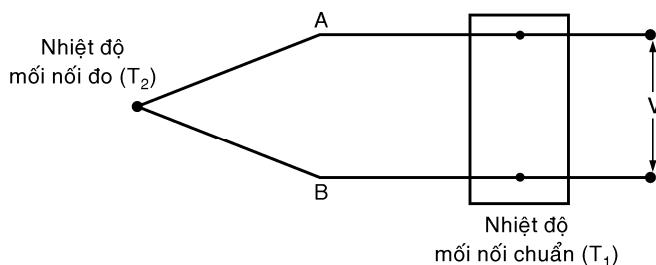
Việc kiểm soát các thông số ấn định trị giá điện trở cho phép giảm thiểu sai số dưới 1% so với trị giá danh định.

Sự thay đổi theo nhiệt của điện trở suất của silicium phụ thuộc vào cách chế tạo và nhiệt độ.

7.3 ĐO NHIỆT ĐỘ BẰNG CẶP NHIỆT ĐIỆN

7.3.1 Đặc tính tổng quát - độ nhạy nhiệt

Một trong những phương pháp thông dụng để đo nhiệt độ được dùng trong khoa học và kỹ nghệ là sử dụng hiệu ứng nhiệt điện. Một cặp nhiệt điện gồm hai dây dẫn A và B được cấu tạo bởi vật liệu khác nhau, tại điểm nối chung của chúng có nhiệt độ T_2 , và hai đầu còn lại của cặp nhiệt điện có nhiệt độ T_1 sẽ xuất hiện một sức điện động nhiệt điện $E_{A/B}^{T_1 T_2}$ có độ lớn phụ thuộc vào vật liệu của A và B cũng như sự sai biệt về nhiệt độ giữa T_2 và T_1 .



Hình 7.2b: Nguyên lý cặp nhiệt điện

T_2 là nhiệt độ mối nối chung (còn được gọi là mối nối đo) là nhiệt độ T_c đạt được khi đặt mối nối chung trong môi trường nghiên cứu có nhiệt độ không biết T_x , nhiệt độ T_c phụ thuộc vào T_x và phụ thuộc vào sự trao đổi nhiệt có thể có với những môi trường khác (hành lang, môi trường bên ngoài).

Hai đầu còn lại của cặp nhiệt điện có nhiệt độ biết trước và giữ không đổi là $T_1 = T_{ref}$ được gọi là mối nối chuẩn và được nối với mạch đo áp. Trong các thiết bị đo nhiệt độ dùng cặp nhiệt điện loại rẻ tiền, mối nối chuẩn được giữ ở nhiệt độ môi trường. Cặp nhiệt điện được cấu tạo với kích thước rất bé:

- Nó cho phép đo nhiệt độ rất chính xác.
- Số lượng calo của cảm biến được thu nhỏ cho phép vận tốc đáp ứng

nhanh. Hai ưu điểm này cho thấy cặp nhiệt điện được sử dụng có lợi điểm hơn điện trở. Ngoài ra còn có một lợi điểm nữa là, tín hiệu được tạo ra dưới dạng sức điện động mà không cần tạo ra dòng điện chạy qua cảm biến như vậy tránh được hiện tượng đốt nóng cảm biến. Tuy nhiên nó có điểm bất lợi là trong khi đo, nhiệt độ của mối nối chuẩn phải biết rõ, tất cả sự không chính xác của T_{ref} sẽ dẫn tới sự không chính xác của T_c .

Cặp nhiệt điện được cấu tạo bởi các kim loại hoặc hợp kim khác nhau và có khoảng đo rộng từ $-270^{\circ}\text{C} \div 2700^{\circ}\text{C}$, đáp ứng của cặp nhiệt điện không tuyến tính khi nhiệt độ thay đổi lớn, tính không tuyến tính trong mối quan hệ giữa sức điện động nhiệt điện và nhiệt độ được thể hiện qua công thức tính như sau:

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

với: E - sức điện động nhiệt điện tính bằng μV

T - nhiệt độ tính bằng $^{\circ}\text{C}$.

Số các phần tử a_i cũng như trị giá của nó phụ thuộc vào loại cặp nhiệt điện và nhiệt độ đo (nhiệt độ mối nối chuẩn ở 0°C).

Hoặc đơn giản hơn, ta có thể sử dụng công thức gần đúng:

$$E = C(T_2 - T_1) + K(T_2^2 - T_1^2)$$

với: C, K - các hằng số phụ thuộc vào cặp nhiệt điện

T_2 - nhiệt độ mối nối đo; T_1 - nhiệt độ mối nối chuẩn.

Ví dụ: Cặp nhiệt điện Cu/constantan có $C = 3,75 \times 10^{-12} \text{ mV}/^{\circ}\text{C}$ và $K = 4,50 \times 10^{-5} \text{ mV}/^{\circ}\text{C}^2$, nếu $T_2 = 100^{\circ}\text{C}$, $T_1 = 0^{\circ}\text{C}$, sức điện động nhiệt điện:

$$\begin{aligned} E &= C(T_2 - T_1) + K(T_2^2 - T_1^2) \\ &= 3,75 \times 10^{-2}(100 - 0) + 4,50 \times 10^{-5}(100^2 - 0^2) \\ &= 3,75 \text{ mV} + 0,45 \text{ mV} = 4,20 \text{ mV} \end{aligned}$$

Độ nhạy cặp nhiệt điện ở T_c được tính theo biểu thức:

$$S(T_c) = \frac{dE_{A/B}^{T_c, 0^{\circ}\text{C}}}{dT_c}$$

Rõ ràng $S(T_c)$ là một hàm theo nhiệt độ và được tính bằng $\mu\text{V}/^{\circ}\text{C}$.

Ví dụ, đối với cặp nhiệt điện Fer/constantan ta có:

$$S(0^\circ\text{C}) = 52,9 \mu\text{V}/^\circ\text{C} \quad \text{và} \quad S(700^\circ\text{C}) = 63,8 \mu\text{V}/^\circ\text{C}$$

Đối với cặp nhiệt điện $P_t - Rh(10\%)/P_t$ ta có:

$$S(0^\circ\text{C}) = 6,4 \mu\text{V}/^\circ\text{C} \quad \text{và} \quad S(1400^\circ\text{C}) = 11,93 \mu\text{V}/^\circ\text{C}$$

Từ ví dụ trên ta thấy độ nhạy của cặp nhiệt điện nhỏ hơn nhiều so với nhiệt điện trở. Độ nhạy của cặp nhiệt điện thường không vượt quá trị số $60 \mu\text{V}/^\circ\text{C}$.

7.3.2 Hiệu ứng nhiệt điện

1- Hiệu ứng Peltier

Tại mối nối của hai dây dẫn A và B khác nhau nhưng có cùng nhiệt độ T (H.7.3a) sẽ hình thành một hiệu điện áp chỉ tùy thuộc vào loại dây dẫn và nhiệt độ của chúng: $V_m - V_n = P_{A/B}^T$. Đó chính là sức điện động hiệu ứng Peltier.

Định luật Volta: Trong một mạch kín đãng nhiệt được cấu tạo bởi những dây dẫn khác nhau, sức điện động Peltier tổng cộng bằng không. Trong mạch được cấu tạo bởi những vật liệu A, B, C và D (H.7.3b).

$$\text{Ta có: } P_{A/B}^T + P_{B/C}^T + P_{C/D}^T + P_{D/A}^T = 0$$

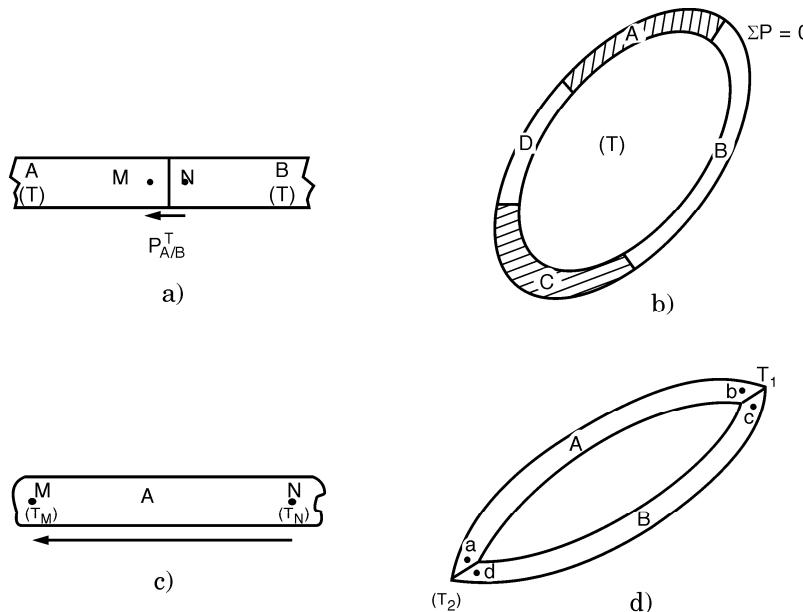
2- Hiệu ứng Thomson

Giữ hai điểm M và N có nhiệt độ khác nhau, ở bên trong một thanh dẫn đồng nhất A (H.7.3c) sẽ hình thành một sức điện động chỉ tùy thuộc vào loại dây dẫn và những nhiệt độ T_M, T_N .

$$E_A^{T_M T_N} = \int_{T_N}^{T_M} h_A dT_1$$

Đó là sức điện động Thomson, h_A là hệ số Thomson của dây dẫn A và là một hàm của nhiệt độ.

Định luật Magnus: Nếu hai đầu của một mạch điện được cấu tạo bằng một dây dẫn duy nhất và đồng nhất, đồng thời có cùng nhiệt độ thì sức điện động Thomson bằng không.

**Hình 7.3: Hiệu ứng nhiệt điện**

- a) *Hiệu ứng Peltier*; b) *Định luật Volta*
c) *Hiệu ứng Thomson*; d) *Hiệu ứng Seebeck*

3- *Hiệu ứng Seebeck*

Nếu trong một mạch điện kín, được cấu tạo bằng hai dây dẫn A và B mà hai mối nối của chúng có nhiệt độ T_1 và T_2 sẽ hình thành một cặp nhiệt điện (H.7.3d). Cặp nhiệt điện sẽ tạo ra một sức điện động gọi là Seebeck $E_{A/B}^{T_2 T_1}$ đó là kết quả của hiệu ứng Peltier và Thomson.

Thật vậy: Sức điện động giữa a và b: $e_{ab} = \int_{T_1}^{T_2} h_A dT$

Sức điện động giữa b và c: $e_{bc} = P_{A/B}^{T_2}$

Sức điện động giữa c và d: $e_{cd} = \int_{T_2}^{T_1} h_B dT$

Sức điện động giữa d và a: $e_{da} = P_{B/A}^{T_1}$

Sức điện động tổng cộng chính là tổng các sức điện động kể trên và chính là sức điện động Seebeck.

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

Để thuận tiện ta chọn T_1 chẳng hạn có giá trị chuẩn biết trước (0°C) sức điện động của cặp nhiệt điện chỉ phụ thuộc vào T_2 .

7.3.3 Các loại cặp nhiệt điện và đặc tính sử dụng

Các cặp nhiệt điện và những giới hạn sử dụng.

Cặp nhiệt điện	Nh. độ sử dụng	E (mV)	Cấp chính xác
Cu / Constantan Loại T (đường kính 1,63 mm)	– 270°C đến 370°C	– 6,258 đến 19,027	± 2% từ –100°C đến –40°C
			± 0,8% từ –40°C đến 100°C ± 0,75% từ 100°C đến 350°C
Fer / Constantan Loại J (đường kính 3,25 mm)	– 210°C đến 800°C	– 8,096 đến 45,498	± 3°C từ 0°C đến 400°C ± 0,75% từ 400°C đến 800°C
Chromel / Alumel Loại K (đường kính 3,25 mm)	– 270°C đến 1250°C	– 5,354 đến 50,633	± 3°C từ 0°C đến 400°C ± 0,75% từ 400°C đến 1250°C
Chromel/Constantan Loại E (đường kính 3,25 mm)	– 270°C đến 870°C	– 9,835 đến 66,473	± 3°C từ 0°C đến 400°C ± 0,75% từ 400°C đến 1250°C
Platine – Rhodium (10%) / Platine	– 50°C đến 1500°C	– 0,236 đến 15,576	± 2,5°C từ 0°C đến 600°C
Loại S (đường kính 0,51 mm)			± 0,4% từ 600°C đến 1600°C
Platine – Rhodium (13%) / Platine Loại R (đường kính 0,51 mm)	– 50 đến 1500°C	– 0,226 đến 17,445	± 1,4°C từ 0°C đến 538°C ± 0,25% từ 538°C đến 1500°C
Platine – Rhodium (30%)/Platine – Rhodium (6%) Loại B (đường kính 0,51 mm)	0°C đến 1700°C	0 đến 12,426	± 0,5% từ 870°C đến 1700°C
Tungstène – Rhénium (5%)/ Tungstène – Rhénium (26%)	0°C đến 2760°C	0 đến 38,45	

7.3.4 Cách sử dụng và lắp đặt cảm biến

1- Cách thực hiện và bảo vệ

Cần tránh những sức điện động ký sinh trong khi mắc dây cảm biến hoặc do cấu tạo không đồng nhất của cảm biến làm thay đổi đặc tính nhiệt điện của cảm biến.

Những sự không đồng nhất trong cấu tạo có ba nguyên nhân chính:

□ Lực ép cơ khí có được do sự sắp xếp hoặc do sự căng dây, thông thường chúng có thể loại bỏ được nhờ sự nung lại.

□ Những tác động hóa học: hai dây dẫn phải được che chở chống lại mọi tác nhân có thể tác động đến chúng, đặc biệt điều chế vật liệu cần thiết phải được tinh khiết.

□ Những tia bức xạ hạt nhân gây ra những chuyển đổi trong vài hợp kim cắp nhiệt điện.

Phản hàn (mối nối) của cắp nhiệt điện phải có thể tích giảm thiểu nhằm tránh những điểm có nhiệt độ khác nhau tại mối nối, điều này dẫn đến những sức điện động ký sinh, cũng như những thay đổi hóa học của vật liệu do mức độ hàn. Một trong ba kỹ thuật sau thường được sử dụng:

1- Hàn bằng thiếc khi nhiệt độ sử dụng không quá cao (cắp nhiệt điện loại T).

2- Hàn tự sinh bằng gió đá là kỹ thuật thường được sử dụng.

3- Hàn điện.

Hai dây dẫn có thể được xoắn lại với nhau một đoạn gần mối nối nhằm gia tăng bảo vệ cơ khí, nhưng nó tùy thuộc vào vận tốc đáp ứng.

Để tránh những điểm tiếp xúc khác ngoài mối nối, hai dây dẫn được đặt bên trong vỏ cách điện bằng sứ. Cáp nhiệt điện với vỏ cách điện thường được che chở thêm bằng một lớp vỏ để chống sự xâm phạm của các khí cũng như những đột biến nhiệt, lớp vỏ thường bằng sứ hoặc thép trong trường hợp bằng thép mối nối có thể được cách với vỏ hay tiếp xúc với vỏ, điều này có lợi là vận tốc đáp ứng nhanh nhưng nguy hiểm hơn (H.7.4).



Hình 7.4: a) Mối nối được cách với vỏ; b) Mối nối tiếp xúc với vỏ

2- Nhiệt độ chuẩn (T_{ref})

Ta biết rằng sức điện động nhiệt điện phụ thuộc vào sự sai biệt giữa nhiệt độ mối nối đo T_c và nhiệt độ mối nối chuẩn T_{ref} , để xác định được nhiệt độ T_c ta cần phân biệt ba trường hợp: $T_{ref} = 0^\circ\text{C}$, T_{ref} không đổi nhưng khác với 0°C , T_{ref} bằng với nhiệt độ môi trường.

* Trường hợp T_{ref} giữ nguyên không đổi ở 0°C : Việc đo sức điện động nhiệt điện cho phép ta xác định ngay nhiệt độ T_c nhờ sử dụng bảng đặc tính của cặp nhiệt điện sử dụng.

* T_{ref} không đổi nhưng khác với 0°C : Khi nhiệt độ môi trường thay đổi lớn, trong kỹ nghệ người ta có thể chọn T_{ref} không đổi và lớn hơn nhiệt độ môi trường. Việc chọn trước T_{ref} và sử dụng bảng đặc tính của cặp nhiệt điện sử dụng ta biết được $E_{A/B}^{T_{ref} 0^\circ\text{C}}$, khi đo sức điện động nhiệt điện của cảm biến, ta sẽ tính được:

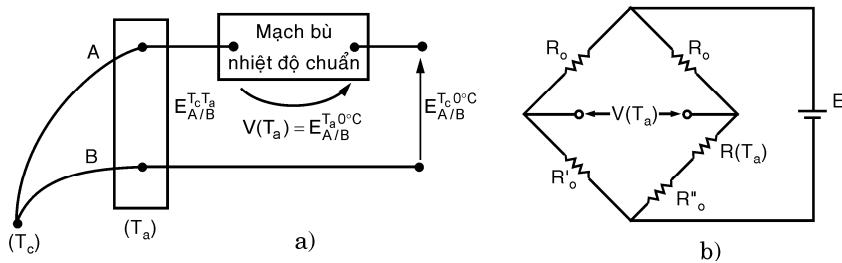
$$E_{A/B}^{T_c 0^\circ\text{C}} = E_{A/B}^{T_c T_{ref}} + E_{A/B}^{T_{ref} 0^\circ\text{C}} \text{ từ đó xác định được } T_c$$

* T_{ref} bằng với nhiệt độ môi trường: Khi biết trước nhiệt độ môi trường T_a đồng thời tiến hành đo sức điện động nhiệt điện của cảm biến ở nhiệt độ T_c , từ đó xác định được nhiệt độ T_c như sau:

$$E_{A/B}^{T_c 0^\circ\text{C}} = E_{A/B}^{T_c T_a} + E_{A/B}^{T_a 0^\circ\text{C}}$$

Tuy nhiên trong trường hợp này cần có mạch bù nhiệt độ chuẩn T_{ref} (thay đổi theo nhiệt độ môi trường) để tạo nên điện áp $V(T_a) = E_{A/B}^{T_a 0^\circ\text{C}}$ theo đổi một cách tự động theo nhiệt độ môi trường như hình 7.4A.

Điện áp $V(T_a)$ có được nhờ sử dụng nhiệt điện trở được giữ ở nhiệt độ môi trường: trị giá nhiệt điện trở $R(T_a)$ xác định điện áp $V(T_a)$ nhờ sử dụng cầu Wheatstone DC.

**Hình 7.4A: Mạch bù nhiệt độ chuẩn:**

a) Nguyên tắc; b) Cầu Wheatstone sử dụng làm mạch bù

Cầu Wheatstone cho phép bù nhiệt độ khi nhiệt độ môi trường thay đổi xung quanh trị giá \$0^\circ\text{C}\$, các trị giá \$R_o\$, \$R'_o\$ và \$R''_o\$ độc lập với nhiệt độ trong khi nhiệt điện trở \$R(T_a)\$ thay đổi tuyến tính với hệ số nhiệt độ là \$\alpha_R\$. Cầu cân bằng khi nhiệt độ ở \$0^\circ\text{C}\$, ở nhiệt độ \$T_a\$ điện áp ở ngõ ra của cầu có trị giá:

$$V(T_a) = E \frac{R_o(R'_o - R''_o)}{(R_o + R'_o)^2} \alpha_R T_a$$

Các giá trị điện trở \$R_o\$, \$R'_o\$, \$R''_o\$ được chọn làm sao để có:

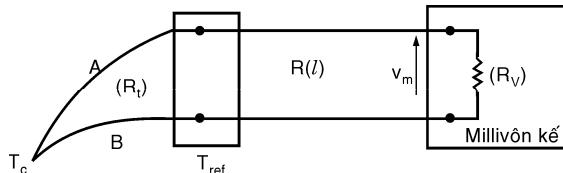
$$E \frac{R_o(R'_o - R''_o)}{(R_o + R'_o)^2} \alpha_R T_a = E_{A/B}^{T_a 0^\circ C}$$

3- Phương pháp đo

Sức điện động nhiệt điện chỉ có thể biết chính xác nếu ta giảm thiểu độ giảm áp do dòng điện chạy qua cặp nhiệt điện và các dây nối, các điện trở này thường không biết chính xác do chúng phụ thuộc vào nhiệt độ môi trường và nhiệt độ đo. Hai phương pháp thường sử dụng để đo sức điện động nhiệt điện:

- Sử dụng millivôn kế có nội trở lớn
- Sử dụng phương pháp biến trở (phương pháp xung đối)

* Phương pháp millivôn kế

**Hình 7.4B: Đo sức điện động nhiệt điện dùng millivôn kế**

Gọi R_x là điện trở của cặp nhiệt điện, R_l là điện trở nối dây, R_v và v_m là nội trở và điện áp hai đầu millivôn kế:

$$v_m = E_{A/B}^{T_c T_{ref}} \frac{R_v}{R_t + R_l + R_v} \Rightarrow E_{A/B}^{T_c T_{ref}} = v_m [1 + \frac{R_t + R_l}{R_v}]$$

Để kết quả đo chính xác ($E_{A/B}^{T_c T_{ref}} \approx v_m$) ta cần phải có $R_v \ll R_t + R_l$.

* Phương pháp biến trở

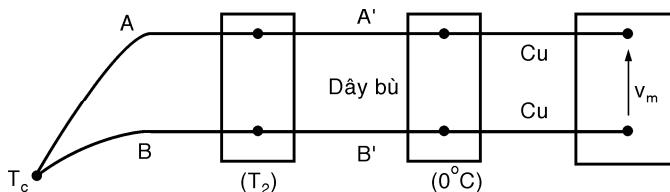
Được trình bày ở phần 2.4 (Đo điện áp DC bằng phương pháp biến trở), cho ta kết quả đo chính xác hơn dùng phương pháp millivôn kế.

4- Dây bù

Người ta có thể lắp đặt để sử dụng chiều dài dây dẫn của cặp nhiệt điện ngắn nhất có thể, trong trường hợp sau:

- Vì lý do tiết kiệm, khi sử dụng cặp nhiệt điện có giá thành cao như $Pt-Rh/Pt$.

- Tránh làm đứt dây dẫn của cặp nhiệt điện khi mà điều kiện đo sử dụng dây dẫn cặp nhiệt điện rất mảnh, khi đó người ta đặt xen kẽ giữa cặp nhiệt điện và mạch đo các dây A' và B' mà không làm thay đổi sức điện động nhiệt $E_{A/B}^{T_c 0^\circ C}$ tạo ra bởi cặp nhiệt điện A/B.



Hình 7.4C: Sơ đồ cách măc dây bù

Để tránh làm đứt dây dẫn cặp nhiệt điện người ta nối thêm vào các dây dẫn có cùng loại với cặp nhiệt điện nhưng có đường kính lớn hơn.

Để giảm giá thành cặp nhiệt điện người ta nối thêm vào các dây dẫn khác loại với cặp nhiệt điện nhưng có đặc tính biết trước: đó là các dây bù. Vậy giờ ta xét đặc tính của dây bù:

Trong trường hợp dây dẫn của cặp nhiệt điện được kéo dài đến mạch đo:

$$v_m = E_{A/B}^{T_c 0^\circ C} = P_{A/B}^{T_c} - P_{A/B}^{0^\circ C} + \int_0^{T_c} (h_A - h_B) dT$$

Trong trường hợp sử dụng dây bù:

$$v_m = P_{Cu/A}^{0^\circ C} + \int_0^{T_2} h_A \cdot dT + P_{A'/A}^{T_2} + \int_{T_2}^{T_c} h_A \cdot dT + P_{A/B}^{T_c} + \int_{T_c}^{T_2} h_B \cdot dT + P_{B'/B}^{T_2} + \int_{T_2}^0 h_B \cdot dT + P_{B'/Cu}^{0^\circ C}$$

Ta có mối quan hệ: $P_{B'/Cu}^{0^\circ C} + P_{Cu/A'}^{0^\circ C} = P_{B'/A'}^{0^\circ C} = -P_{A'/B'}^{0^\circ C}$

$$P_{A'/A}^{T_2} + P_{B'/B}^{T_2} = P_{A'/B'}^{T_2} + P_{B'/A'}^{T_2} + P_{B/B'}^{T_2} = P_{A'/B'}^{T_2} + P_{B/A}^{T_2}$$

$$\Rightarrow v_m = P_{A/B}^{T_c} - P_{A'/B'}^{0^\circ C} + \int_0^{T_2} (h_A - h_{B'}) \cdot dT + \int_{T_2}^{T_c} (h_A - h_B) \cdot dT + P_{A'/B'}^{T_2} - P_{A/B}^{T_2}$$

Để $v_m = v_m'$ ta cần có:

$$P_{A/B}^{T_2} - P_{A/B}^{0^\circ C} + \int_{0^\circ C}^{T_2} (h_A - h_B) \cdot dT = P_{A'/B'}^{T_2} - P_{A'/B'}^{0^\circ C} + \int_{0^\circ C}^{T_2} (h_{A'} - h_{B'}) \cdot dT$$

$$\Rightarrow E_{A/B}^{T_2, 0^\circ C} = E_{A'/B'}^{T_2, 0^\circ C}$$

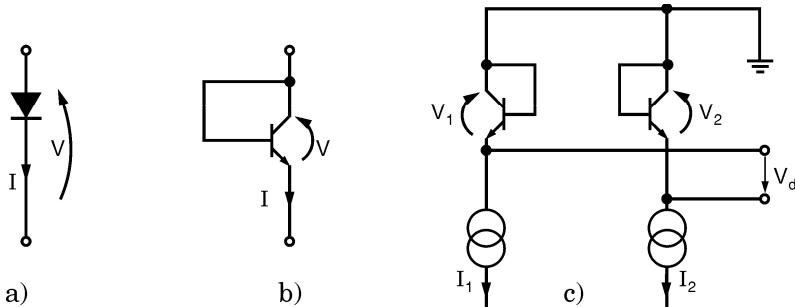
Như vậy để các dây bù A' và B' không làm thay đổi sức điện động nhiệt điện tạo ra bởi cặp nhiệt điện A/B ta cần có điều kiện:

1- Các mối nối A/A' và B/B' có cùng nhiệt độ T_2 .

2- Các cặp nhiệt điện A'/B' và A/B có cùng sức điện động nhiệt điện ở nhiệt độ T_2 .

7.4 DÙNG DIOD VÀ TRANSISTOR ĐO NHIỆT ĐỘ

7.4.1 Đặc tính tổng quát, độ nhạy nhiệt



Hình 7.5: Các thành phần được sử dụng làm cảm biến đo nhiệt độ

a) Diod; b) Transistor mắc như diod

c) Hai transistor giống nhau được mắc như diod

Những phần tử được sử dụng, diod hay transistor silicium được mắc như diod (cực nền và cực thu nối chung) được cung cấp theo chiều thuận dòng điện I không đổi, điện áp V ở hai đầu cực của chúng tùy thuộc vào nhiệt độ, điều này có thể xem như tín hiệu đi ra từ cảm biến tùy thuộc vào nhiệt độ.

Độ nhạy nhiệt S của diod hay transistor được mắc như diod được xác định bởi $S = dV/dT$ có trị giá khoảng $-2,5 \text{ mV}^{\circ}\text{C}$, nó không hoàn toàn độc lập với nhiệt độ. Một khía cạnh khác độ nhạy cũng như điện áp V tùy thuộc vào dòng điện I_o , dòng này có thể có giá trị khác nhau đối với các phần tử diod hay transistor khác nhau. Các diod, transistor chỉ có thể đổi cho nhau khi các đặc tính của chúng giống nhau (cùng trị giá V đối với một dòng điện cho trước và có cùng trị giá I_o).

Để cải thiện sự tuyến tính và kết quả có thể hoán vị cho nhau, sử dụng hai transistor được cung cấp bởi hai dòng I_1 và I_2 , ta đo sự sai biệt điện áp giữa các cực nền và phát (H.7.5c).

Độ nhạy nhiệt có thể diễn tả: $S = d(V_1 - V_2)/dT$

Ví dụ: $S = 86,56 \log I_1/I_2$ tính bằng $\mu\text{V} \cdot \text{K}^{-1}$.

Những trị giá độ nhạy của diod và transistor thường lớn hơn độ nhạy cǎp nhiệt điện và không cần sự hiện hữu của nhiệt độ chuẩn. Tuy nhiên những trị giá này thấp hơn so với độ nhạy nhiệt điện trở có đi kèm với mạch biến đổi. Do đặc tính điện của cảm biến làm giới hạn phạm vi sử dụng đo nhiệt độ trong khoảng từ -50°C đến 150°C , trong khoảng này đặc tính điện của cảm biến rất ổn định.

7.4.2 Sự liên hệ điện áp và nhiệt độ

1- Diod hay transistor mắc như diod

Dòng điện I và điện áp V được liên hệ bởi công thức.

$$I = I_o \left[\exp\left(\frac{qV}{KT}\right) - 1 \right]$$

T : $^{\circ}\text{K}$; K : hằng số Boltzman

Nếu phân cực thuận ($I \geq I_o$) ta có:

$$I = I_o \exp\left(\frac{qV}{KT}\right) \text{ với } I_o = C T^m \exp\left(-\frac{qV_\Phi}{KT}\right)$$

trong đó: V_Φ - độ cao vùng cấm tính bằng volt, đối với silicium có trị giá 1,12 vôn.

m - thông thường có trị giá là 3.

c - hệ số đặc lập đối với nhiệt độ T nhưng tùy thuộc vào dạng hình học mối nối.

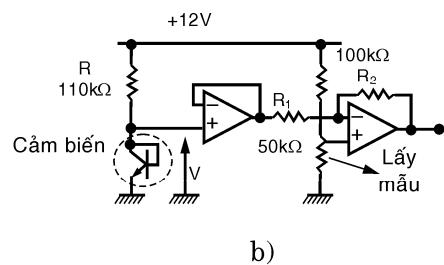
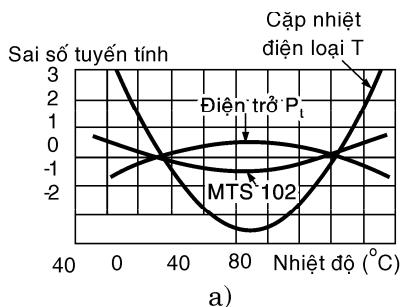
Như thế ta có thể tính V :

$$V = V_\Phi + KT/q \log I - KT/qm \log T - KT/q \log C$$

Hằng số c và dòng I có thể loại ra khỏi biểu thức trên nếu ta để ý là điện áp có giá trị V_I đối với cùng dòng điện I nhưng nhiệt độ là T_1 .

$$V = V_I \frac{T}{T_1} + V_\Phi \left(1 - \frac{T}{T_1}\right) + m \frac{KT}{q} \log \frac{T_1}{T}$$

Biểu thức trên cho thấy điện áp không tuyến tính theo nhiệt độ. Khoảng cách tuyến tính từ -20°C đến 150°C của transistor MTS 102 (hãng Motorola) được giới thiệu như hình 7.6.



Hình 7.6: Cảm biến transistor đo nhiệt độ

a) So sánh sai số tuyến tính của transistor với điện trở bạch kim và cặp nhiệt điện; b) Mạch đo

2- Điện áp sai biệt giữa hai transistor giống nhau được mắc theo hình 7.5c

Hai transistor Q_1 và Q_2 giống nhau, có cùng dòng I_o được cung cấp các dòng I_1 và I_2 , các điện áp nền và phát là V_1 và V_2 .

$$I_1 = I_o \exp \frac{qV_1}{KT} \Rightarrow V_1 = \frac{KT}{q} \log \frac{I_1}{I_o}$$

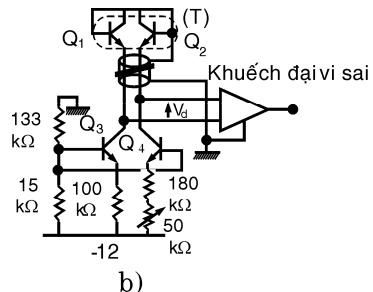
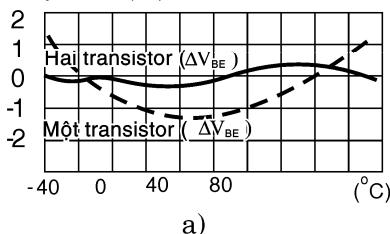
$$I_2 = I_o \exp \frac{qV_2}{KT} \Rightarrow V_2 = \frac{KT}{q} \log \frac{I_2}{I_o}$$

Việc đo điện áp sai biệt $V_d = V_I - V_2$ cho phép loại ảnh hưởng của I_o .

$$V_d = \frac{KT}{q} \operatorname{Log} \frac{I_1}{I_2} = \frac{KT}{q} \operatorname{Log} n$$

n : tỉ số các dòng điện không đổi = I_1/I_2

Sai số tuyến tính ($^{\circ}\text{C}$)



Hình 7.7: Cảm biến đo nhiệt độ dùng hai transistor

- a) Sai số tuyến tính khi dùng hai transistor so sánh với trường hợp một transistor; b) Mạch đo

Ví dụ: $V_d = 86,56T\operatorname{Log}n$; V_d : tính bằng μV ; T : $^{\circ}\text{K}$. Nếu $n = 2$ suy ra: $V_d = 59,73T$.

$$\text{Độ nhạy nhiệt: } S = \frac{dV_d}{dT} = \frac{K}{q} \operatorname{Log} n$$

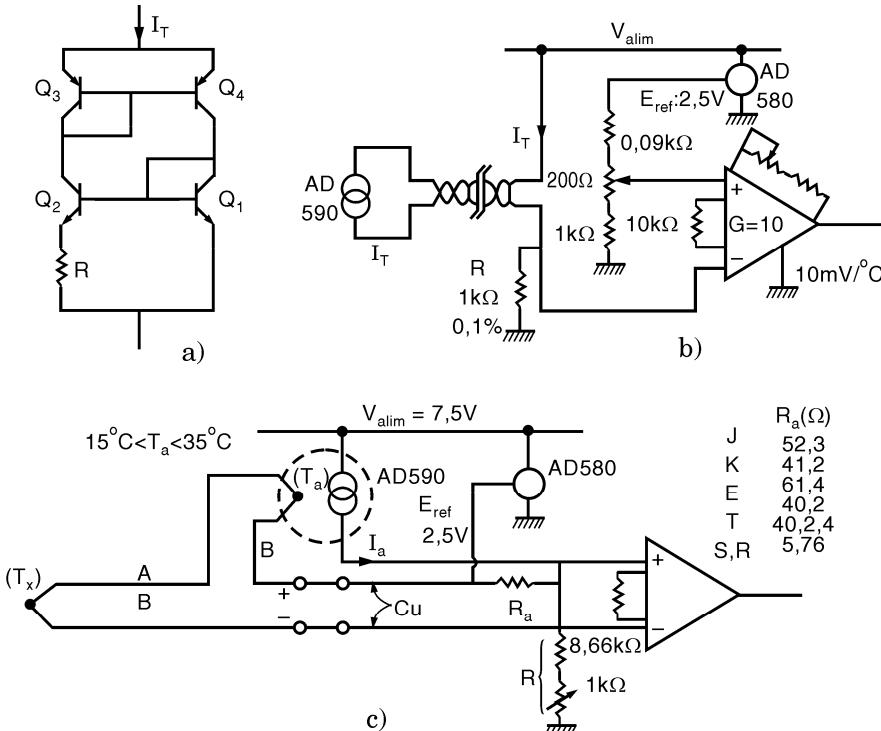
Ví dụ: $S = 86,56 \cdot \operatorname{Log} 2$. Tính bằng $\mu\text{V.K}^{-1}$.

Độ nhạy nhiệt nhỏ hơn so với cách mắc một diod, hay một transistor nhưng nó độc lập với nhiệt độ T , điều này cải thiện rất nhiều sự tuyến tính.

7.5 ĐO NHIỆT ĐỘ BẰNG IC

Kỹ thuật vi điện tử cho phép chế tạo những mạch kết gồm những transistor giống nhau được sử dụng để làm cảm biến hoàn hảo đo nhiệt độ dựa vào việc đo sự khác biệt điện áp V_{BE} dưới tác động của nhiệt độ. Các cảm biến này tạo ra dòng điện hoặc điện áp tỉ lệ với nhiệt độ tuyệt đối, với độ tuyến tính cao, lợi thế của nó là vận hành đơn giản, tuy nhiên phạm vi hoạt động giới hạn -50°C đến 150°C . Ví dụ: cảm biến IC AD590.

Cảm biến này tạo ra một dòng điện thay đổi tuyến tính theo nhiệt độ tuyệt đối, được dùng đo nhiệt độ trong trường hợp dùng dây dẫn với khoảng cách xa. Sơ đồ đơn giản về cấu tạo cảm biến như hình 7.8.



Hình 7.8: Cảm biến đo nhiệt độ dùng IC AD 590

a) Sơ đồ nguyên lý; b) Mạch đo nhiệt độ; c) Mạch bù trừ

Các transistor Q_3 và Q_4 có cùng điện áp V_{BE} và có dòng cực phát giống nhau bằng $I_T/2$; dòng điện này qua Q_4 cũng chính là dòng điện cực phát của Q_1 , nó xác định điện áp nền phát là:

$$V_{BE1} = \frac{KT}{q} \log\left(\frac{I_T}{2I_o}\right)$$

Dòng điện $I_T/2$ chạy qua Q_3 đi qua Q_2 , có điện áp nền – phát (thực tế gồm tám transistor giống Q_1 , mỗi transistor có dòng điện $I_T/16$) là:

$$V_{BE2} = \frac{KT}{q} \log\left(\frac{I_T}{16I_o}\right)$$

Sự sai biệt giữa điện áp V_{BE1} và V_{BE2} xuất hiện ở hai đầu điện trở R có dòng điện $I_T/2$ chạy qua.

$$V_{BE_1} - V_{BE_2} = \frac{KT}{q} \cdot \text{Log}8 \Rightarrow V_{BE_1} - V_{BE_2} = \frac{RI_T}{2} \Rightarrow I_T = \frac{2}{R} \cdot \frac{KT}{q} \cdot \text{Log}8$$

□ IC AD 590 được dùng để đo nhiệt độ như hình 7.8. Dòng điện I_T tạo nên hai đầu điện trở R ($1\text{K}\Omega$) một điện áp có trị số bằng $T(mV)$. Với T là nhiệt độ tuyệt đối của cảm biến.

Nguồn điện áp chuẩn do IC AD580L có $E_{ref} = 2,5\text{V}$ và nhờ mạch chiết áp tạo ra điện áp có trị giá khoảng $273,15mV$ (liên quan đến trị giá điện áp ở hai đầu R ở nhiệt độ ${}^{\circ}\text{C}$) với bộ khuếch đại có độ lợi $G = 10$, ở ngõ ra tín hiệu V_o tỉ lệ với nhiệt độ của cảm biến tính theo ${}^{\circ}\text{C}$:

$$V_o = 10(T - 273,15)mV = 10(T{}^{\circ}\text{C})mV.$$

7.6 DÙNG CẢM BIẾN THẠCH ANH ĐO NHIỆT ĐỘ

Một ứng dụng cổ điển của thạch anh là thực hiện bộ dao động có độ vững lớn, tần số dao động chỉ phụ thuộc vào nhiệt độ. Bản thạch anh có phương trình thể định trước đặc trưng cho sự thay đổi nhiệt độ ảnh hưởng đến tần số dao động.

Khi dùng làm cảm biến đo nhiệt độ, bản thạch anh có phương trình thể làm cho tần số dao động thay đổi gần như tuyến tính với nhiệt độ của bản thạch anh. Cảm biến này rất chính xác và nhạy, mặt khác việc xác định nhiệt độ dẫn đến việc đếm tần số có lợi do:

□ Việc đo rất chính xác.

□ Việc chuyển đổi ra dạng số rất dễ dàng đối với thông tin liên quan đến tần số.

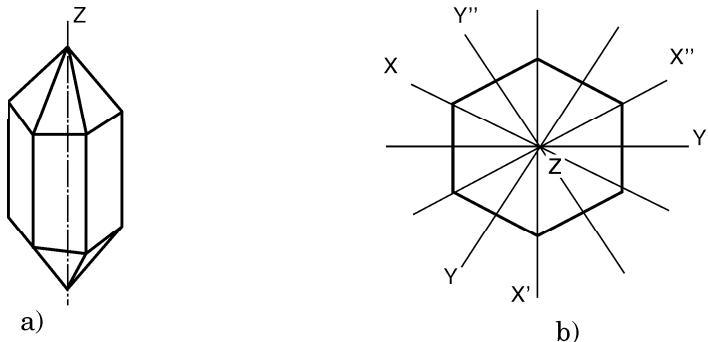
7.6.1 Công hưởng cơ của thạch anh

Tinh thể thạch anh SiO_2 , có dạng một lăng kính có sáu mặt, cấu trúc của nó có những đặc tính vật lý có thể đặc trưng bởi ba nhóm trực:

□ Trục quang Z (nối liền những điểm đỉnh của tinh thể) và trong mặt phẳng thẳng góc với trục Z:

□ Ba trục điện X, X', X'' mỗi trục nối liền hai đỉnh đối diện của mặt phẳng sáu cạnh.

- ◻ Ba trục cơ Y, Y', Y'' mỗi trục thẳng góc với hai cạnh đối diện của mặt phẳng sáu cạnh.



Hình 7.9: Tinh thể thạch anh

a) Dạng tổng quát; b) Tiết diện thẳng góc với trục quang

Trong tinh thể được cắt theo dạng tiết diện vuông, tam giác hoặc tròn, các đặc tính phụ thuộc vào dạng hình học, và kích thước của chúng cũng như phương tinh thể. Thạch anh là một chất áp điện. Trong trường hợp các mặt phẳng thu điện tích thẳng góc với trục điện sẽ xuất hiện các điện tích trái dấu trên mặt phẳng. Đó là hiệu ứng áp điện trực tiếp.

- ◻ Một sự thay đổi bề dày của bản thạch anh, nén lại hoặc bẹt ra tùy thuộc theo dấu của điện áp khi đưa vào các bề mặt, đó là hiệu ứng áp điện ngược.

Một bản thạch anh có thể xảy ra các dao động cơ liên quan đến các loại biến dạng khác nhau: sự kéo dài ra, uốn cong, cắt. Tần số dao động được xác định bởi dạng hình học, kích thước, phương tinh thể của bản thạch anh và có thể diễn tả bởi công thức:

$$f = (n/l) \sqrt{dp}$$

trong đó: c - độ lớn đàn hồi, phụ thuộc phương tinh thể

ρ - trọng lượng riêng của thạch anh

l - kích thước của bản thạch anh theo phương truyền dao động

n - số nguyên; $1 < n < 5$.

Khi áp vào hai mặt của bản thạch anh một điện áp xoay chiều mà tần số bằng với tần số dao động có thể, hiệu ứng áp điện ngược xảy ra kéo theo sự dao động của bản thạch anh. Như thế có thể xây dựng một hiện tượng dao động cơ điện với sự biến đổi tuần hoàn năng lượng cơ ra năng lượng điện và ngược lại, và năng lượng mất mát rất bé. Hệ số phẩm chất Q đặc trưng cho

hiện tượng cộng hưởng có được:

$$Q = 2\pi \times \frac{\text{naâng lõõng cõ hoaë níeă cõc nai}}{\text{naâng lõõng tieâ taù tuaà hoa}}$$

Đối với bǎn thach anh, Q có giá trị rất cao, thường từ $10^4 \div 10^5$. Vị trí hai bǎn cực thu điện tích so với trục tinh thể của bǎn thach anh xác định lực cắt. Ví dụ:

□ Lực cắt X gọi là mẫu Curie: hai bǎn cực thẳng góc với trục X. một điện áp xoay chiều được áp vào hai mặt đối diện, bǎn dao động có thể dao động theo chiều dài và hai tần số cộng hưởng quan trọng là:

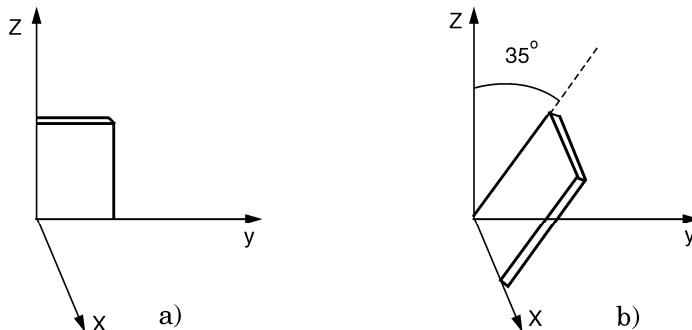
$$f_1 = 2860/e \text{ và } f_2 = 2860/l; f \text{ tính bằng kHz}$$

e và l : bě dày và bě rộng của bǎn tính bằng mm.

□ Lực cắt AT, hai mặt bǎn cực quay chung quanh trục X và tạo thành một góc gần bằng 35° so với trục Z, bǎn dao động có thể dao động theo lực cắt bě dày và tần số dao động có trị giá:

$$f = \frac{1675}{e} \cdot n$$

f : kHz; n : số nguyên ≤ 5



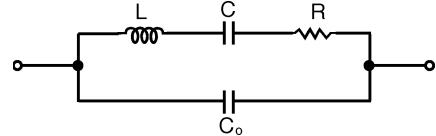
Hình 7.10: a) Lực cắt X; b) Lực cắt AT

□ Với những lực cắt khác được sử dụng: tần số dao động cơ luôn luôn tỉ lệ nghịch với một trong những kích thước của chúng.

Các điện cực cho phép đặt một điện áp vào bǎn dao động, nó được cấu tạo bằng thanh kim loại đặt tiếp xúc với bǎn dao động.

Chung quanh tần số cộng hưởng cơ, về phương diện điện bản thạch anh có thể được biểu thị bằng một lưỡng cực cấu tạo bằng hai nhánh song song.

Một nhánh L, C, R . Các phần tử này có giá trị được xác định bởi đặc tính hình học, cơ khí và tinh thể của bản dao động và có độ lớn:



L : từ vài H đến 10^4 H, C : từ 10^{-2} pF đến 10^{-1} pF,

R : vài k Ω đến vài chục k Ω

□ Một nhánh gồm điện dung C_o đó là điện dung được hình thành bằng các điện cực kim loại có giá trị khoảng: 1 đến 100 pF; tỉ số C/C_o có giá trị tổng quát từ 10^{-2} đến 10^{-3} .

Lưỡng cực này có thể có hai tần số cộng hưởng điện:

□ Cộng hưởng nối tiếp của nhánh L, C, R tần số f_S :

$$f_S = \frac{1}{2\pi\sqrt{LC}}$$

□ Cộng hưởng song song, giữa C_o và nhánh L, C, R tần số f_p :

$$f_p = \frac{1}{2\pi\sqrt{LC\frac{1}{1+(C/C_o)}}}$$

Các tần số này rất gần nhau: $\frac{f_p - f_S}{f_S} = \frac{1}{2} \cdot \frac{C}{C_o}$

7.6.2 Độ nhạy nhiệt

Tất cả sự thay đổi nhiệt độ kéo theo một sự thay đổi kích thước của bản dao động, trọng lượng riêng và hệ số đàn hồi, kết quả:

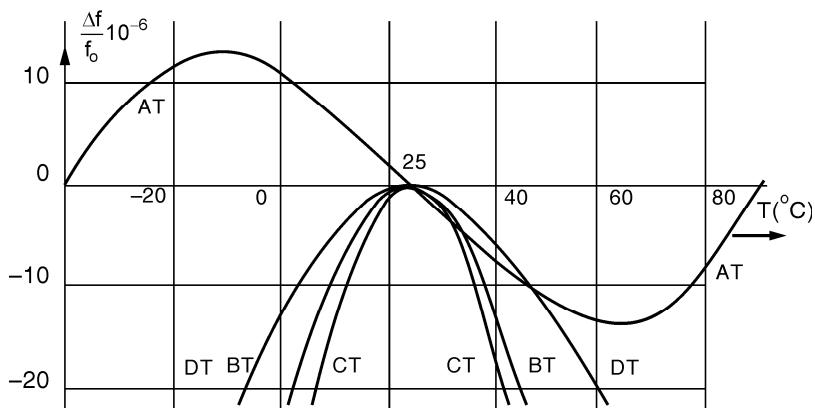
□ Một sự thay đổi tần số cộng hưởng cơ: $f = n/l\sqrt{c/\rho}$

□ Một sự thay đổi các giá trị các thành phần L, C, R đặc trưng của bản dao động, về phương diện điện.

Một cách tổng quát: $f(T) = f_0(1 + aT + bT^2 + dT^3)$; T: °C

$$\Rightarrow \Delta f/f_0 = aT + bT^2 + dT^3 \text{ với } \Delta f = f(T) - f_0.$$

Các hệ số a, b, d tùy thuộc lực cắt bản dao động (H.7.11).



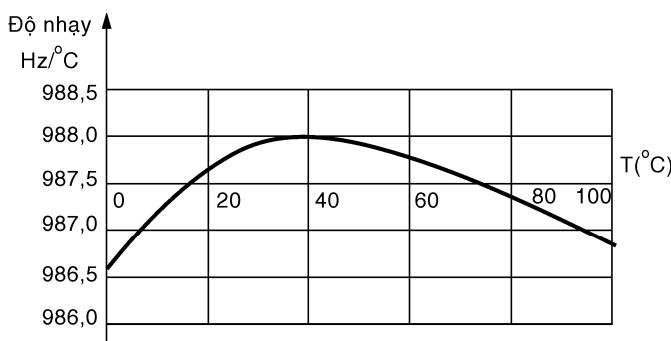
Hình 7.11: Sự thay đổi theo nhiệt độ tần số cộng hưởng của thạch anh đối với các lực cắt khác nhau

Với lực cắt LC (tuyến tính) về nguyên tắc các hệ số b và d bằng 0. Độ nhạy nhiệt của tần số cộng hưởng là một hằng số:

$$S = \frac{\Delta f}{\Delta T} = a \cdot f_0$$

với: $a = 35,45 \times 10^{-6}/^{\circ}\text{C}$ và $f_0 = 28,208 \text{ MHz}$; ta có: $S = 1000 \text{ Hz}/^{\circ}\text{C}$.

Lực cắt LC thường được sử dụng đối với bản thạch anh dùng làm cảm biến đo nhiệt độ. Hình 7.12 cho thấy sự thay đổi độ nhạy nhiệt của bản thạch anh có lực cắt LC.



Hình 7.12: Độ nhạy thay đổi theo nhiệt độ của thạch anh có lực cắt LC

7.6.3 Mạch dao động dùng bǎn thạch anh

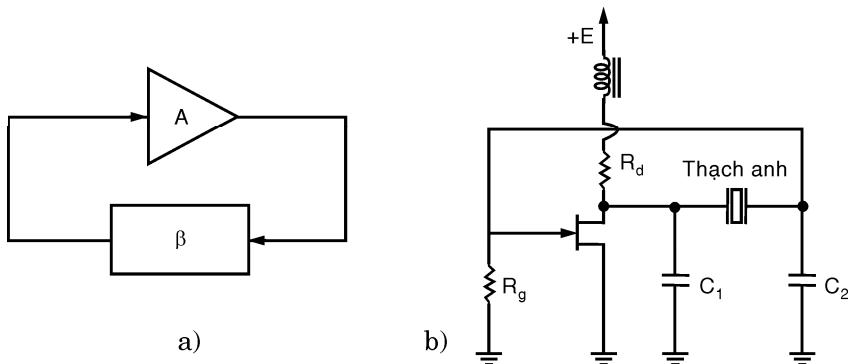
Một dao động sin được cấu tạo gồm một mạch khuếch đại và một mạch hồi tiếp (H.7.13).

A - độ lợi mạch khuếch đại

Φ_a - góc lệch pha tạo bởi mạch khuếch đại.

β - tỉ số hồi tiếp, đó là tỉ số tín hiệu đầu vào và đầu ra của mạch khuếch đại, Φ_r góc lệch pha tạo bởi mạch hồi tiếp. Điều kiện Barkhausen để cho mạch dao động: $|A\beta| \geq 1$ và $\Phi_a + \Phi_r = 2\pi$.

Hình 7.13 là một mạch dao động đơn giản.



Hình 7.13: a) Sơ đồ nguyên lý mạch dao động

b) Mạch dao động đơn giản dùng thạch anh

7.6.4 Cách chế tạo nhiệt kế và cách đo

Để đo nhiệt độ bằng cảm biến thạch anh ta đặt bǎn thạch anh bên trong hộp thép chứa helium nhằm mục đích gia tăng sự dẫn nhiệt giữa thạch anh và hộp. Thạch anh được nối với các phần tử tác động nhờ dây cáp và sẽ tạo nên mạch dao động với tín hiệu đo e_m :

$$e_m = E_m \cos \Omega_m t \text{ với } \Omega_m = 2\pi f_m$$

$$f_m = f_o + \Delta f \text{ và } \Delta f = S(T - T_o) = ST \text{ khi } T_o = 0^\circ\text{C}$$

Với mạch dao động chuẩn bằng thạch anh, tạo nên tín hiệu chuẩn e_r tần số f_o , độc lập với môi trường.

$$e_r = E_r \cos \Omega_o t. (\Omega_o = 2\pi f_o)$$

Các tín hiệu e_m , e_r được đưa vào mạch thay đổi tần số (mạch nhân chằng hạn) sẽ tạo nên tín hiệu V'_o :

$$V'_o = K e_m e_r = E'_o [\cos(\Omega_m - \Omega_r)t + \cos(\Omega_m + \Omega_r)t]$$

Với một mạch lọc thấp qua nó giới hạn tần số cao ở đầu ra:

$$V_o = E_o \cos(\Omega_m - \Omega_r)t = E_o \cos 2\pi \Delta f \cdot t$$

Một bộ đếm tần số cho phép xác định Δf và với S biết được, ta sẽ biết $T = \Delta f / S$.

Đặc tính đo lường của cảm biến thạch anh đo nhiệt (hãng chế tạo Hewlett Packard):

Khoảng đo: -80 đến 250°C .

Khoảng cách tuyến tính: $\pm 0,05\%$ khoảng đo.

Độ nhạy: $1000 \text{ Hz}/^\circ\text{C}$.

Khả năng đo: $0,0001^\circ\text{C}$.

Độ nhanh: hằng số thời gian nhiệt $2,5$ giây trong nước có vận tốc 2m/giây .

Chương 8

ĐO CÁC ĐẠI LƯỢNG CƠ HỌC CHẤT LỎNG

8.1 ĐO VẬN TỐC CHẤT LỎNG

Phương pháp đo vận tốc chất lỏng thường được đo một cách gián tiếp bởi việc thực hiện thường dựa trên:

- Đặc tính vật lý của chi tiết thử nghiệm.
- Một hiệu ứng vật lý mà vận tốc chất lỏng là một trong những thông số và hiệu ứng xảy ra đối với chi tiết thử nghiệm.

Chi tiết thử nghiệm có thể được cấu tạo bởi chất lỏng cần đo hoặc chi tiết thử nghiệm là một phần tử cấu tạo nên cảm biến.

Khi chi tiết thử nghiệm là chính chất lỏng cần đo, vận tốc được xác định bởi:

$$\square \text{ Áp suất động: } \rho = \frac{U^2}{2}; \rho: \text{khối lượng riêng; } U: \text{vận tốc.}$$

- Hiệu ứng Doppler xảy ra với một nguồn laser hoặc một nguồn siêu âm.

Trong trường hợp này người ta sử dụng cảm biến thích hợp đối với đại lượng vật lý cần đo: áp suất, nguồn sáng, sóng ngắn. Những cảm biến này không đặc trưng cho tính chất cơ của chất lỏng và việc tìm hiểu chúng được trình bày ở nơi khác, tuy nhiên những phương pháp đo sẽ được trình bày sau.

Khi chi tiết thử nghiệm là một phần tử của cảm biến đặt trong chất lỏng, vận tốc của chất lỏng được xác định bởi đặc tính vật lý:

- Nhiệt độ và điện trở của một sợi dây đốt nóng được cung cấp nhờ nguồn DC.

- Vận tốc quay của một chong chóng.

Những cảm biến loại này rất đặc trưng cho việc đo vận tốc chất lỏng và sẽ được trình bày sau.

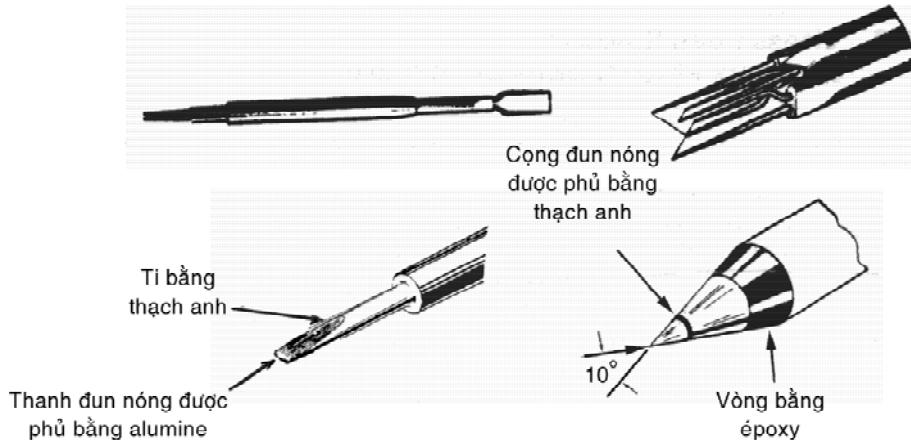
8.1.1 Tốc độ kế loại cọng hay thanh điện trở đun nóng

1- Nguyên lý, cấu tạo và định luật trao đổi nhiệt

Khi người ta đặt trong vùng chất lỏng di chuyển, một cọng hoặc một thanh điện trở đun nóng nhờ hiệu ứng Joule có nhiệt độ lớn hơn nhiệt độ dòng chảy, sẽ xảy ra một sự trao đổi nhiệt cho nhau. Việc trao đổi phụ thuộc vào đặc tính vật lý của chất lỏng, vận tốc chất lỏng và khoảng sai biệt nhiệt độ giữa điện trở đun nóng và chất lỏng.

Nhiệt độ cân bằng của cọng hoặc thanh điện trở cảm biến được xác định do việc đo điện trở cảm biến, nó tương ứng với công suất Joule tiêu tán và do đó vận tốc của dòng chảy được xác định.

Kim loại dùng làm cảm biến phải có hệ số nhiệt điện trở cao, trong chất khí người ta thường dùng một sợi bạch kim hoặc tungstène rất mảnh ($0,6\mu\text{m} < D < 10\mu\text{m}$), trong chất lỏng vì lý do cần chắc chắn, cảm biến là tấm bạch kim mỏng, đặt trên cây hình trụ cách điện và có vỏ được bọc thạch anh (H.8.1).



Hình 8.1: Cọng và thanh đun nóng dùng làm tốc độ kế

Công suất Joule P_j tiêu tán trên một điện trở nhiệt độ T , trị giá $R(T)$, dòng điện I_{DC} chạy qua được diễn tả: $P_j = R(T)I^2$.

Sự trao đổi nhiệt với chất lỏng ở nhiệt độ T_a , công suất trao đổi có thể viết:

$$P_C = hS_I(T - T_c)$$

với: h - hệ số trao đổi nhiệt

S_I - tiết diện ngoài của cản biến đổi với dạng cong (tiết diện tròn):

$$S_I = \pi Dl$$

D - đường kính; l - chiều dài.

Đối với dạng thanh (tiết diện chữ nhật):

$$S_I = 2Dl$$

với: D - chiều rộng; l - chiều dài.

$$\text{Khi cân bằng nhiệt } P_j = P_C \Rightarrow R(T) I^2 = h \cdot S_I(T - T_a).$$

Vận tốc U của chất lỏng tham gia vào biểu thức tính h và những công thức khác nhau cho phép tính trị giá h như sau:

$$\text{Công thức King: } h = a + b\sqrt{U}$$

a, b : là những hằng số đối với mỗi chất lỏng và cản biến cho trước, ta có thể đơn giản: $R(T) I^2 = (A + B\sqrt{U})(T - T_a)$

$$\text{Với } A = a S_I; B = b S_I.$$

Để thấy rõ những thông số làm ảnh hưởng đến việc đo, ta đặt một cách tổng quát: $h = \lambda Nu/D$

λ - độ dẫn nhiệt của chất lỏng

D - đường kính của cọng hoặc bề rộng của thanh

Nu - hệ số Nusselt. Như thế phương trình cân bằng có thể viết:

$$R(T)I^2 = \lambda Nu/D \cdot S_I(T - T_a)$$

$$\text{Trong trường hợp dạng cong: } Nu = R(T)I^2/\pi\lambda l(T - T_a)$$

Có nhiều biểu thức khác nhau để tính được Nu , và thường được ký hiệu N_{uf} (ở nhiệt độ $T_f = \frac{T + T_a}{2}$) như sau:

$$\text{Công thức Kramer: } N_{uf} = 0,42 Pr_f^{0,2} + 0,57 Pr_f^{0,33} \cdot R_{ef}^{0,5}.$$

$R_{ef} = UD/\gamma$: hằng số Reynold; V : vận tốc chất lỏng; D : đường kính bình đựng chất lỏng; γ : độ nhớt.

$$Pr_f = \gamma/\alpha : \text{hằng số Prandtl; } \alpha: \text{hệ số khuếch tán của chất lỏng.}$$

$$\text{Công thức Collis và Williams: } N_{uf} = (A + BR_{ef}^n) \left(\frac{T + T_a}{2T_a} \right)^{0,17}$$

với: $n = 0,45$; $A = 0,24$; $B = 0,56$ nếu $0,02 < R_e < 44$.

hay: $n = 0,51$; $A = 0$; $B = 0,48$ nếu $44 < R_e < 150$.

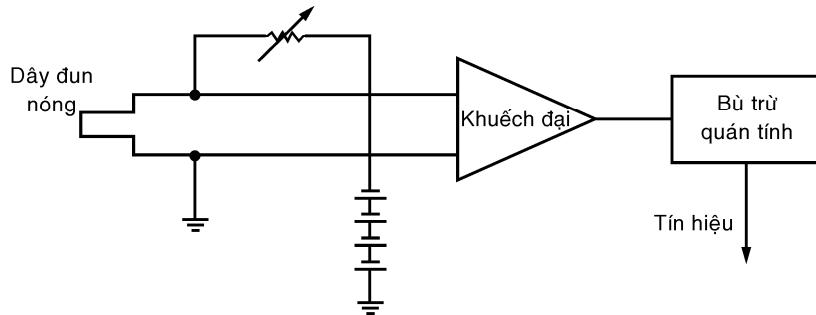
2- Mạch đo

Có hai loại mạch đo được dùng cho vận tốc kể loại cọng hoặc thanh đun nóng: cách măc dòng điện không đổi và cách măc nhiệt độ T không đổi.

* Cách măc dòng điện không đổi:

Dòng điện I chạy qua điện trở cảm biến được giữ không đổi, nhờ một điện trở măc nối tiếp với cảm biến, và được cung cấp nhờ một nguồn dòng. Ta biết công suất nhiệt trao đổi phụ thuộc vận tốc chất lỏng, chất lỏng có vận tốc thay đổi dẫn đến nhiệt độ cảm biến thay đổi, điện trở của cảm biến phụ thuộc vào nhiệt độ của nó, như vậy điện áp hai đầu điện trở cảm biến phụ thuộc vào vận tốc chất lỏng.

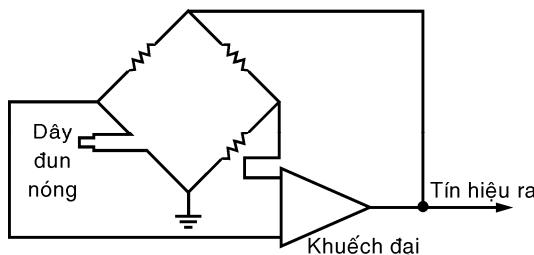
Hình 8.2 cho ta thấy sơ đồ nguyên tắc mạch đo loại dòng điện không đổi và có mạch bù trừ quán tính để cải thiện vận tốc đáp ứng.



Hình 8.2: Cách măc mạch đo dòng điện không đổi

* Cách măc nhiệt độ không đổi:

Trong trường hợp này, nhiệt độ và điện trở của cảm biến được giữ không đổi. Điện trở cảm biến được măc vào một nhánh của cầu Wheatstone và dòng điện được điều chỉnh cho cầu cân bằng sẽ phụ thuộc vào vận tốc chất lỏng như hình 8.3.



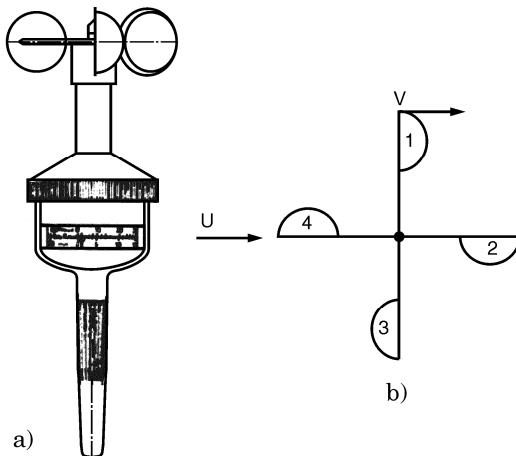
Hình 8.3: Cách mắc mạch đo nhiệt độ không đổi

8.1.2 Tốc độ kế dùng cánh dạng Coupples và cánh dạng hélice

Loại tốc độ kế này được thiết kế như bánh xe nước, gồm có một chi tiết thử nghiệm mang những cánh Coupples hay dạng cánh hélice nó sẽ quay dưới tác động của dòng chảy. Vận tốc quay, được đo bởi một thiết bị đo vận tốc thích hợp tỉ lệ với vận tốc chất lỏng.

1- Tốc độ kế dạng Coupples

Những Coupples có dạng nửa trái cầu rỗng, với số lượng ba hay bốn nửa trái cầu tùy theo kiểu, mỗi cái được gắn trên một nhánh của trực quay (H.8.4).



Hình 8.4: Vận tốc kế dạng Coupples

a) Loại ba Coupelle

b) Hình vẽ vận tốc kế có bốn Coupelles trong phần tính toán

Đặt trong vùng dòng chảy, tốc độ kế dạng Coupples sẽ quay dưới tác động của hệ số kéo có giá trị phụ thuộc vào dòng chảy tác động vào mặt nào của hình bán cầu rỗng.

Phương trình cân bằng được thiết lập một cách dễ dàng bằng cách quan sát tốc độ kế ở thời điểm hai nửa bán cầu (ví dụ 1 và 3) ở vị trí thẳng góc với

vận tốc \bar{U} của dòng chảy, những lực tác động trên hai nửa bán cầu còn lại (2 và 4) tự cân bằng (hình vẽ trên). Hai nửa bán cầu 1 và 3 có vận tốc \bar{V} và $-\bar{V}$ có cùng phương với vận tốc \bar{U} , những lực kéo tác dụng lên hai bán cầu này có trị số tương đương.

$$F_1 = \frac{1}{2} \rho C_x S (U - V)^2$$

với: ρ - khối lượng riêng chất lỏng, S - ngẫu lực chính.

$$F_3 = \frac{1}{2} \rho C_x S (U + V)^2$$

với: C_x và C'_x là những hệ số kéo đối với mỗi bề mặt của bán cầu rỗng.

$$\text{Ta có: } C_x \cdot (U - V)^2 = C'_x (U + V)^2 \Rightarrow U = V \frac{\sqrt{C_x} + \sqrt{C'_x}}{\sqrt{C_x} - \sqrt{C'_x}}$$

Ta có: $C_x = 1,42$ và $C'_x = 0,38$ đối với bán cầu rỗng và $U = 3,1V$.

Lưu ý: việc tính toán trên chỉ là cách tính toán đơn giản. Những hệ số C_x thay đổi đối với hệ số Reynolds một cách phức tạp phải kể đến những hiệu ứng rẽ sóng. Nếu vận tốc tương đối lớn những hiệu ứng không tuyến tính phải kể đến.

2- Tốc độ kế loại hélice

Trục quay của tốc kế hélice được đặt song song với vận tốc dòng chảy

Trong trường hợp không kể đến sự trượt, ta có thể viết được:

$$U = h \cdot N$$

trong đó: U - vận tốc dòng chảy

N - số vòng /giây của hélice

h - hằng số.

Những công thức khác có thể được nêu ra có tính đến hiệu ứng trượt, chỉ dùng lúc khởi hành:

$$U = a + b N$$

$$U = a N + b N^2 + C \text{ (Baumgarten)}$$

$$U = a + b N + C/U \text{ (Rateau)}$$



Hình 8.5: Toác nõa keá loaïi

Những hằng số tham gia trong các công thức trên dĩ nhiên phụ thuộc vào đặc tính của hélice và chất lỏng. Hơn nữa một vài đặc tính có thể thay đổi, ví dụ sự hao mòn do tác động của dòng chảy.

3- Mạch biến đổi, cách thực hiện

Một mạch biến đổi tín hiệu đi ra từ bánh xe nước được thực hiện bằng bốn phương pháp.

- Phương pháp cổ điển là việc biến đổi bằng cơ khí. Nối đầu ra bằng một bộ phận đếm vòng quay bằng cơ ta gấp trong thiết bị đo vận tốc bằng cơ khí tên gọi Chronomètre.

- Phương pháp thứ 2 là nối liền một máy phát đo tốc độ với trục quay.

Thông thường người ta sử dụng hai phương pháp:

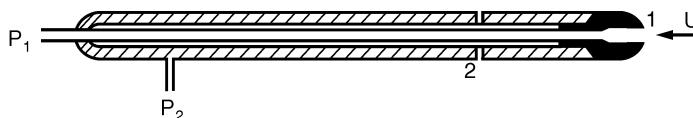
- Phương pháp thứ 3: Đặt 1 nam châm nhỏ trên hélice, điều này dẫn đến một xung điện xuất hiện mỗi khi nam châm đi ngang qua cuộn dây.

- Phương pháp thứ 4: Dùng một cảm biến quang điện, cảm biến bị che khuất mỗi lần tấm chắn đi ngang qua. Một sự phân tích tín hiệu bằng cách đo tần số cho phép ta biết được vận tốc hoặc nhờ một mạch biến đổi tần số–điện áp ta có điện áp một chiều tỉ lệ với vận tốc cần đo.

8.1.3 Phương pháp đo tốc độ bằng những cảm biến không đặc trưng

Ở đây ta đề cập đến những phương pháp đo trong đó việc xác định vận tốc một cách gián tiếp, những cảm biến được sử dụng thích hợp riêng cho việc đo các đại lượng vật lý cụ thể.

1- Đo vận tốc nhờ ống Pitot



Hình 8.6: Cấu tạo ống Pitot

Phương trình Bernouilli cho biết sự liên hệ vận tốc U có áp suất P_1 và P_2 ở điểm 1 và 2 tương ứng:

$$U = \sqrt{2(P_1 - P_2)/\rho}$$

trong đó: ρ - khối lượng riêng của chất lỏng.

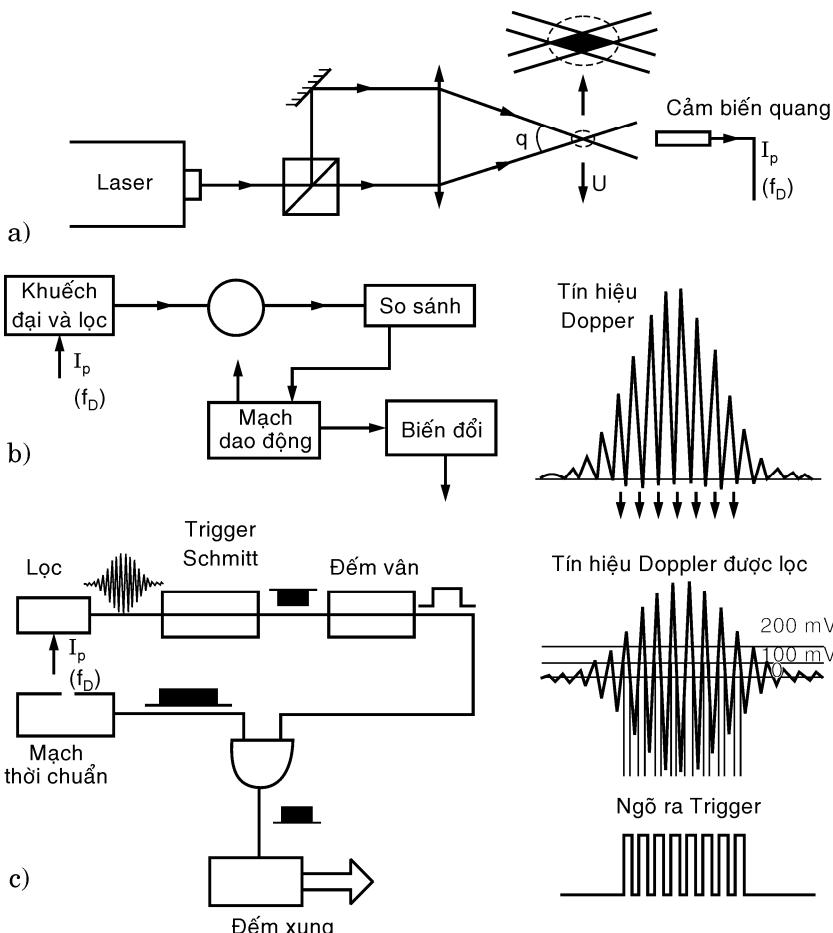
Sự sai biệt áp suất $P_1 - P_2$ được đo nhờ một cảm biến áp suất vi sai.

2- Vận tốc kế laser

Nguyên tắc: Hai nguồn sáng phát xuất từ nguồn laser hội tụ tại tiêu điểm

của hệ thống thấu kính trong vùng thể tích khoảng $0,1mm^3$ của chất lỏng sẽ xảy ra hiện tượng giao thoa. Khoảng cách vân giao thoa:

$$d = \frac{\lambda}{2\sin(\theta/2)}$$



Hình 8.7: Vận tốc kế laser

- a) Cấu tạo, dây chuyền đo lường;
- b) Sự phụ thuộc tần số
- c) Mạch đếm tần số;
- d) Dạng tín hiệu

λ - chiều dài bước sóng nguồn sáng; θ - góc hợp bởi hai nguồn sáng.

Nếu các phân tử chất lỏng ở vùng giao thoa di chuyển, sẽ xảy ra hiệu ứng Doppler ánh sáng sẽ bị khuếch tán và đồng thời được tiếp nhận nhờ một cảm biến quang học (chẳng hạn photodiode) và nó sẽ được biến đổi với tần số f_D (tần số Doppler) phụ thuộc vào vận tốc dòng chảy U và khoảng cách vân giao

thoa d :

$$f_D = \frac{U}{d} = \frac{2U}{\lambda} \sin \frac{\theta}{2}$$

với U là thành phần vận tốc dòng chảy vuông góc với vân giao thoa.

Tần số f_D tỉ lệ tuyến tính với vận tốc U và giá trị có thể đo bằng phương pháp này, thông thường từ 10^{-3} m/giây đến 10^3 m/giây. Hai kỹ thuật có thể sử dụng để phân tích tín hiệu đi ra từ cảm biến quang: sự phụ thuộc tần số và việc đếm tần số.

- *Phương pháp thứ nhất (H.8.7b)*: tần số f_D của tín hiệu Doppler được lọc và so sánh với tần số của một nguồn dao động có thể điều chỉnh được. Khoảng cách tần số được chuyển đổi thành một điện áp tỉ lệ tác động lên bộ dao động sao cho tần số của nguồn dao động có giá trị f_D . Một bộ biến đổi tần số-điện áp tiếp theo cho phép có được một tín hiệu tỉ lệ với vận tốc của chất lỏng. Hệ thống này có lợi là tín hiệu DC nhưng nó đòi hỏi số phân tử di chuyển khá nhiều để không cắt đứt tín hiệu Doppler.

- *Phương pháp thứ hai (H.8.7c)*: áp dụng cho dòng chảy có mật độ nhỏ. Tín hiệu Doppler được lọc có cùng dạng được xác định nhờ một tín hiệu thời gian chuẩn có tần số cao F_H , người ta đếm số chu kỳ N_H của tín hiệu chuẩn F_H nằm trong số chu kỳ cố định N_D của tín hiệu Doppler:

$$f_D = \frac{N_D}{N_H} F_H$$

3- Tốc độ kế siêu âm

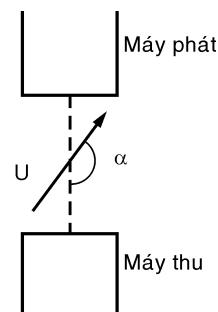
Sóng âm thanh truyền trong môi trường cho trước có vận tốc C tùy thuộc theo nhiệt độ môi trường. Ví dụ trong không khí: $C = 331,4$ m/giây ở 8°C và $342,9$ m/giây ở 20°C .

Sự truyền tiếng động trong chất lỏng nhanh hơn trong môi trường không khí: $C = 1435$ m/giây trong nước ở 8°C .

Nếu môi trường di chuyển với vận tốc \bar{U} so với quan sát viên, vận tốc C' được đo nhờ quan sát viên là:

$$C' = C + U \cos \alpha$$

với α là góc tạo bởi vận tốc \bar{U} và phương truyền sóng như hình 8.8.



Hình 8.8: Nguyên tắc của toán học kế siêu âm

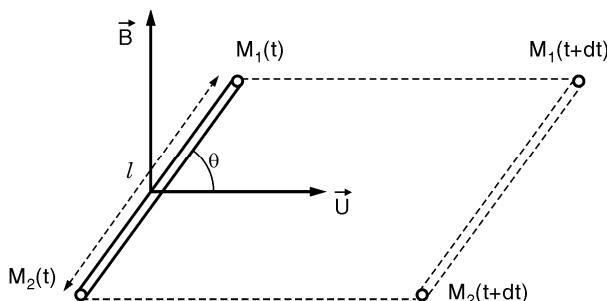
Thiết bị đo gồm có một máy phát những xung siêu âm và một máy nhận đặt cách nhau L , thời gian t_P truyền của xung siêu âm từ máy phát đến máy thu là: $t_P = L/(C + U \cos \alpha)$

Máy phát và thu là những bǎn mỏng bằng chất áp điện, phần phát được cung cấp bằng một điện áp có tần số cao (chẳng hạn 1MHz), phần thu tạo ra tín hiệu điện có dạng phù hợp với sự thay đổi áp suất của sóng siêu âm mà nó nhận được.

8.2 LUU LUONG KẾ

Việc đo lưu lượng là một vấn đề quan trọng trong hệ thống chuyên chở chất lỏng và việc trang bị trong kỹ nghệ ở đó cần kiểm soát lượng chất lỏng tham gia vào qui trình sản xuất: Những phản ứng hóa học, trung tâm sản xuất năng lượng, động cơ đốt trong v.v...

8.2.1 Lưu lượng kế điện tử



a) Nguyên tắc: Trong thời gian dt , sự di chuyển của thanh dẫn M_1M_2 chiều dài l , tạo với vận tốc U một góc θ , trong vùng từ trường B , ta có thể viết:

Diện tích quét: $dS_C = lUsin\theta dt$

Hoặc dưới dạng vectơ: $d\vec{S}_c = \vec{l} \wedge \vec{U} dt$ với $\vec{l} = \overrightarrow{M_1M_2}$

Từ thông xuyêん: $d\Phi_c = \vec{B} \cdot d\vec{S}_c dt$

Sức điện động ứng: $e = -\frac{d\Phi_c}{dt} = \vec{B} \wedge \vec{U} \cdot \vec{l}$

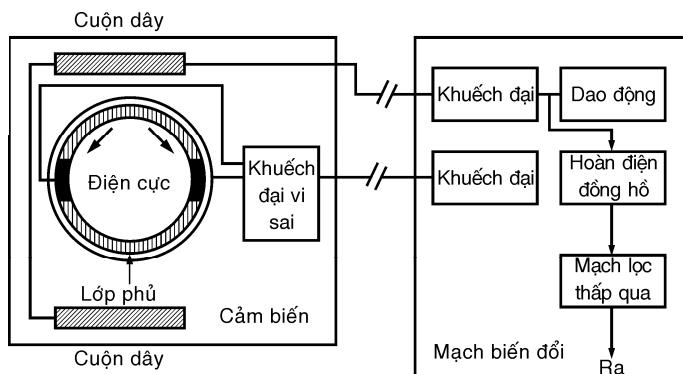
khi \vec{U} thẳng góc với \vec{l} và \vec{B} thẳng góc với mặt phẳng tạo bởi \vec{l} và \vec{U} , ta có: $e = B \cdot l \cdot U$

Công thức trên được tổng quát hóa cho trường hợp chất lỏng có vận tốc \vec{U} thẳng góc với \vec{B} di chuyển bên trong một ống dẫn đường kính D thẳng góc với \vec{B} và \vec{U} : $e = BD U$

Thật ra, vận tốc thay đổi dọc theo đường kính của ống dẫn, tuy nhiên khi

sự phân bố vận tốc đối xứng so với trục của ống dẫn, ta xem vận tốc U đo được là vận tốc trung bình của dòng chảy. Trong những điều kiện này, tín hiệu e tỉ lệ với lưu lượng.

b) Cách thực hiện



Hình 8.9: Lưu lượng kế điện từ: cấu tạo và phân tích tín hiệu

Cảm ứng từ có độ lớn từ 10^{-3} đến 10^{-2} Tesla, được tạo nhờ hai cuộn dây đặt hai bên dây đo bằng vật liệu không nhiễm từ, mặt trong dây đo được phủ một lớp cách điện chống lại sự ăn mòn do sự di chuyển của dòng chảy. Hai điện cực để thu tín hiệu được đặt tại hai đầu của đường kính thẳng góc với đường sức. Hai cuộn dây được cung cấp nhờ dòng điện xoay chiều (ví dụ 30 Hz) để làm thế nào tránh sự phân cực. Tín hiệu thu được có dạng.

$$e = U \cdot D \cdot B_0 \cos(\omega t + \Phi)$$

B_0 : giá trị cực đại của cảm ứng từ

Biên độ tín hiệu tỉ lệ với U và độ lớn c mV , tín hiệu tách ra nhờ bộ hoàn điện đồng bộ.

c) Đặc tính đo lường: Các chất lỏng phải có độ dẫn điện tối thiểu. Mặt khác, máy phát tín hiệu phải có nội trở rất thấp so với điện trở vào của máy đo.

Khoảng đo: Nó tùy thuộc vào đường kính của dây đo, vận tốc dòng chảy thông thường thay đổi từ 1 đến $10 m/giây$.

Ví dụ: Đường kính $10 mm$ lưu lượng tối thiểu $0,28 m^3/giờ$.

Lưu lượng cực đại: $2,8 m^3/giờ$

─ Đường kính $1 m$. – Lưu lượng min: $2800 m^3/giờ$

– Lưu lượng max: $28000 m^3/giờ$.

Khoảng cách tuyến tính: $< \pm 0,25\%$ khoảng đo.

Độ chính xác: $\pm 1\%$ khoảng đo.

Hàng số thời gian khoảng 1 giây.

Những điều lợi khi sử dụng lưu lượng kế điện tử:

□ Việc đo không tùy thuộc vào đặc tính vật lý của chất lỏng (tỉ trọng, độ nhớn, độ dẫn điện miễn là độ dẫn điện phải lớn hơn một giá trị tối thiểu).

□ Việc đo thực tế độc lập đối với việc phân bố vận tốc của dòng chảy, điều này cho phép đặt lưu lượng kế trong trường hợp cần kiểm soát lưu lượng gần một chướng ngại vật (như coude, van v.v...)

□ Không có sự mất mát lưu lượng khi vận hành bởi vì không tạo nên một chướng ngại vật khi đo.

□ Không có những phần tử di động tránh được sự hao mòn.

□ Chống lại sự ăn mòn (ví dụ như acid) nhờ việc chọn lớp phủ bên trong thích hợp (*téflon, émail, verre*) và vật liệu điện cực (*titane, palette*).

8.2.2 Lưu lượng kế cơ khí với bộ biến đổi tín hiệu điện

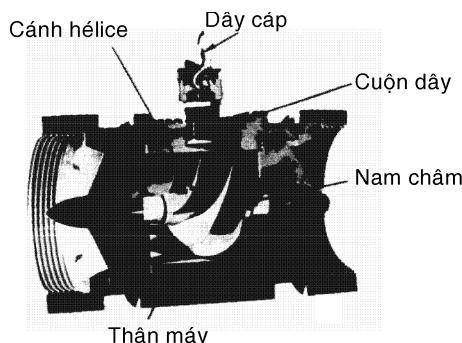
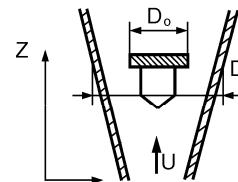
Một chi tiết thử nghiệm được đặt trong thiết bị đo cho phép chất lỏng di chuyển sẽ tạo nên sự chuyển động turbine (*rotor turbine*) hoặc sự dịch chuyển (phao nổi của rotamètre, palette).

Một cảm biến thích hợp, cảm biến đo tốc độ quay trong trường hợp đầu, hoặc cảm biến đo vị trí trong trường hợp thứ hai tạo ra tín hiệu tỉ lệ với lưu lượng.

I- Lưu lượng kế dạng turbine: nguyên tắc giống như thiết bị đo vận tốc chất lỏng có chong chóng quay dạng hélice. Dòng chảy trong trường hợp này sẽ kéo turbine quay tròn được đặt dọc theo trục của thiết bị đo vận tốc quay tròn N (*vòng/giây*) tỉ lệ với lưu lượng Q :

$$Q = K.N$$

hệ số K tùy thuộc vào cấu tạo của lưu lượng kế, nhưng về nguyên tắc độc lập đối với chất lỏng.

**Hình 8.10:** Lưu lượng kế dạng turbine**Hình 8.11:** Nguyên lý
của Rotamètre

2- Rotamètre: được cấu tạo gồm một phao nổi nhỏ đặt trong một bộ phận hướng dẫn dạng côn theo chiều thẳng đứng.

Phao nổi đạt cân bằng một mặt dưới tác động của lực đẩy Archimède và lực kéo, mặt khác do trọng lượng của nó.

$$\rho gV + C_x \frac{\rho S U^2}{2} = \rho_0 gV$$

với: V , ρ_0 : - thể tích và khối lượng riêng của phao

U , ρ : - vận tốc và khối lượng riêng của chất lỏng; C_x - hệ số kéo

$$S - \text{tiết diện của phao. } S = \frac{\pi}{4} D_o^2; g: \text{gia tốc trọng trường.}$$

phao di chuyển đến vị trí mà vận tốc U được tính:

$$U = \sqrt{\frac{2gV}{C_x S} \left(\frac{\rho_0}{\rho} - 1 \right)}$$

đường kính của phần tử hướng dẫn thay đổi tuyến tính theo chiều cao Z :

$$D = D_o + aZ$$

$$\text{Lưu lượng } Q: \quad Q = \frac{\pi}{4} [(D_o + aZ)^2 - D_o^2] \sqrt{\frac{2gV}{C_x S} \left(\frac{\rho_0}{\rho} - 1 \right)}$$

Nếu sự phân kỳ của phần tử hướng dẫn nhỏ, ta có :

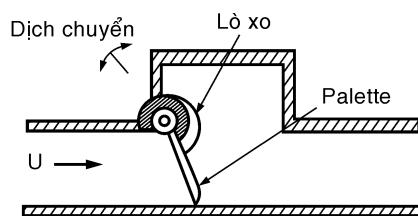
$$Q = \sqrt{\pi} \cdot aZ \sqrt{\frac{2gV}{C_x S} \left(\frac{\rho_0}{\rho} - 1 \right)} = KZ$$

Việc đánh dấu vị trí của phao nổi được thực hiện bằng việc đọc trực tiếp trên mặt chia vạch của phần tử hướng dẫn cấu tạo bằng thủy tinh, hoặc bằng các tế bào quang điện đặt cách khoảng đều đặn, cuối cùng bằng tổ hợp phao nổi + ti nối với lõi của biến áp sai.

Các chi tiết của Rotamètre rất khác nhau và như thế, lưu lượng đo được rất khác nhau, khoảng đo từ 10^{-4} đến $200m^3/giờ$.

3- Lưu lượng kế Palette

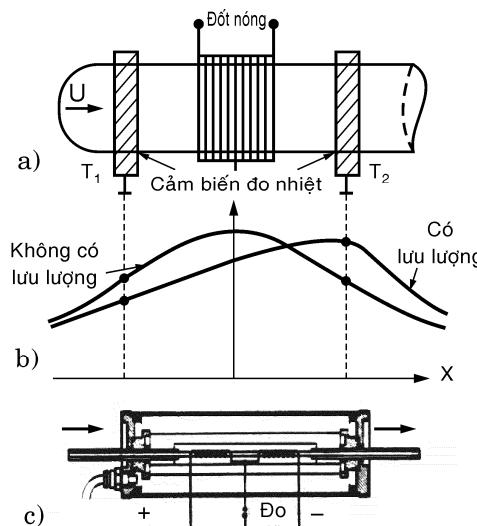
Dưới tác động thủy lực của dòng chảy sẽ đẩy Palette lên xuống nhiều hay ít phụ thuộc vào lưu lượng, ngoài ra Palette còn chịu tác động của trọng lượng và lực chiêu hồi của lò xo.



Hình 8.12: Lò lõiинг keá Palette

Vị trí cân bằng của Palette phụ thuộc vào lưu lượng và được biến đổi ra tín hiệu điện nhờ một biến trở có trực quay được gắn chặt vào Palette. Đáp ứng có thể tuyến tính hay không phụ thuộc vào dạng tín hiệu đưa vào mạch đo. Điều lợi của loại này là cấu tạo đơn giản, chắc chắn và giá thành rẻ.

8.2.3 Lưu lượng kế loại khối nhiệt



Hình 8.13: Lưu lượng kế loại khối nhiệt

- a) Nguyên lý cấu tạo;
- b) Sự phân bố nhiệt độ về hai phía cuộn dây
- c) Mạch đun nóng và mạch đo

a) Nguyên tắc: Thiết bị đo là loại cảm biến được cấu tạo bằng một miếng

kim loại mỏng, đường kính nhỏ, ở bên ngoài miếng kim loại người ta đặt một cuộn dây đun nóng, và đối xứng về hai phía cuộn dây có đặt hai cảm biến đo nhiệt độ tương ứng T_1 và T_2 . Khi lưu lượng bằng không, sự đun nóng đối xứng $T_1 = T_2$; khi có lưu lượng, T_1 giảm T_2 tăng, độ sai biệt: $\Delta T = T_2 - T_1$ tỉ lệ với lưu lượng Q cần đo.

b) Cách thực hiện: Những cảm biến đo nhiệt độ có thể là hai cặp nhiệt điện, hoặc hai nhiệt điện trở được mắc vào hai nhánh của cầu đo Wheatstone với hai điện trở cố định khác được mắc trong hai nhánh còn lại của cầu, điện áp không cân bằng chính là tín hiệu đo.

Trong cách thực hiện khác, việc đun nóng và việc đo ΔT được đảm bảo đồng thời nhờ hai cặp nhiệt điện trở được cung cấp bởi dòng điện đủ làm đun nóng dòng chảy.

8.3 ĐO VÀ DÒ MỰC CHẤT LỎNG

Công việc sang nhuộng và chứa chất lỏng trong các bồn chứa đòi hỏi việc xác định mực chất lỏng, hay nói một cách khác mực chất lỏng đạt được bao nhiêu tại điểm khảo sát. Công việc ghi nhận liên quan đến mực chất lỏng có thể thực hiện dưới hai hình thức: việc đo liên tục hoặc việc thăm dò đơn thuần.

Trong việc đo liên tục, một cảm biến và mạch biến đổi tạo ra tín hiệu điện mà độ lớn hoặc tần số gắn liền với mực chất lỏng trong bình chứa. Bất kỳ lúc nào, người ta cũng có thể biết được chính xác thể tích chất lỏng hiện có hoặc thể tích còn có thể chứa được chất lỏng.

Trong việc thăm dò mực chất lỏng, ta bố trí thiết bị thăm dò, bao gồm một cảm biến tạo ra một thông tin kép biểu hiện mực chất lỏng, đạt hay không đạt so với mực chất lỏng định trước. Thăm dò mực cao của chất lỏng cho phép việc ngừng cho thêm chất lỏng, tránh sự tràn đầy. Thăm dò mực thấp của chất lỏng dẫn đến việc ngừng chính xác đảm bảo số khối lượng chất lỏng dự trữ tối thiểu tránh được tình trạng các bơm chạy không tải.

Việc dò mực cao và thấp của chất lỏng cho phép thực hiện thêm vào hay lấy ra một lượng chất lỏng một cách tự động.

Công việc thăm dò và đo có thể dựa trên những phương pháp thường được sử dụng như sau:

Phương pháp thủy tĩnh với bộ biến đổi điện.

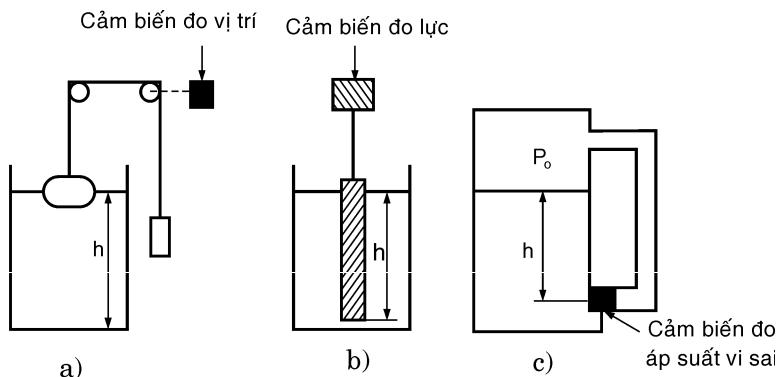
Phương pháp dựa trên đặc tính điện của chất lỏng.

Các phương pháp sử dụng để xác định mực chất lỏng thường chú ý đến:

- Đặc tính vật lý và hóa học của chất lỏng cũng như những thay đổi: độ dẫn điện, hằng số điện môi, khối lượng riêng, độ nhớn, đặc tính ăn mòn.
- Những điều kiện chứa chất lỏng: nhiệt độ, áp suất, có đủ phần thể tích để dán nở.

8.3.1 Phương pháp thủy tĩnh

Kết quả có được do việc bố trí thiết bị đo hoạt động liên tục theo độ cao của mực chất lỏng, không phụ thuộc vào đặc tính điện của chất lỏng nhưng phụ thuộc vào khối lượng riêng.



Hình 8.14: Phương pháp thủy tĩnh đo chất lỏng

a) Phao nổi; b) Trái chìm; c) Cảm biến áp suất vi sai

- Một phao nổi (H.8.14a) được giữ ở ngang mực chất lỏng, được cấu tạo chắc chắn nhờ gắn với một cảm biến đo vị trí qua hệ thống puli và dây cáp, tạo ra tín hiệu điện gắn liền với mực chất lỏng.

Một trái chìm (H.8.14b) được cấu tạo bằng một hình trụ thả chìm trong chất lỏng mà độ cao của nó gần bằng với chiều cao cực đại của chất lỏng trong bình chứa. Trái chìm được treo nhờ một cảm biến đo lực, chịu tác động của một lực (trọng lượng biểu kiến), phụ thuộc vào chiều cao h của chất lỏng.

$$F = P - \rho g Sh$$

trong đó: $\rho g Sh$ - lực đẩy Archimede tác động lên phần thể tích trái chìm nằm trong chất lỏng

ρ - khối lượng riêng chất lỏng; g - gia tốc trọng trường.

- Một cảm biến đo áp suất vi sai (H.8.14c) được đặt ở đáy bình chứa có áp suất P :

$$P = P_0 + \rho gh$$

trong đó: P_0 - áp suất ở đỉnh bình chứa

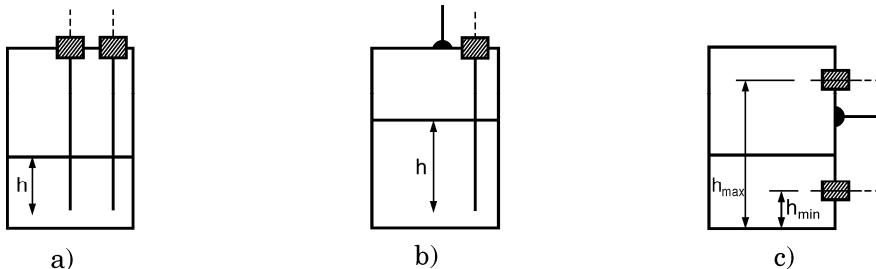
ρgh - áp suất thủy tĩnh do chiều cao h của chất lỏng.

Cảm biến có chi tiết thử nghiệm dạng màng cho phép một mặt của chi tiết chịu tác động của áp suất P , còn mặt kia chịu tác động của áp suất P_0 . Sự biến dạng của chi tiết thử nghiệm dạng màng được biến đổi thành tín hiệu điện tỉ lệ với độ cao h .

8.3.2 Phương pháp điện

Đây là những phương pháp sử dụng những cảm biến đặc biệt, biến đổi trực tiếp mực chất lỏng ra tín hiệu điện, tiện lợi của phương pháp này là bố trí thiết bị đơn giản, vận hành dễ dàng,

1-Cảm biến đo độ dãy điện



Hình 8.15: Cảm biến đo độ dãy điện xác định mực chất lỏng

a) Sử dụng hai điện cực; b) Một điện cực; c) Phát hiện mực chất lỏng

Hình 8.15a: dùng hai điện cực (bình chứa cách điện).

Hình 8.15b: dùng một điện cực (bình chứa dãy điện).

Hình 8.15c: dò mực chất lỏng.

Chỉ sử dụng đối với chất lỏng dẫn điện, không ăn mòn, không đặc trưng cho tính cách điện.

Đầu dò được cấu tạo bằng hai điện cực hình trụ, một trong hai điện cực được thay bằng bình chứa (bằng kim loại). Đầu dò được cung cấp bởi điện áp xoay chiều có trị số thấp (khoảng 10V) để tránh hiện tượng phân cực các điện cực.

Để đo mực chất lỏng, đầu dò được đặt theo phương thẳng đứng và chiều dài chung h của điện cực thay đổi theo mực chất lỏng. Dòng điện tạo ra có độ lớn tỉ lệ với chiều dài điện cực nằm trong chất lỏng, giá trị này tùy thuộc vào độ dẫn điện của chất lỏng.

Để dò mực chất lỏng, ta đặt một điện cực ngắn theo chiều ngang tương ứng với mực chất lỏng. Một dòng điện có biên độ không đổi xuất hiện khi mực chất lỏng đạt đến vị trí đầu dò.

2- Cảm biến đo điện dung

Khi chất lỏng là chất cách điện, một tụ điện được hình thành giữa hai điện cực hình trụ, hoặc giữa một điện cực và vỏ của bình chứa bằng kim loại. Mỗi trường điện môi bao gồm chất lỏng trong khoảng hai điện cực chìm trong chất lỏng và không khí ở phần điện cực bên ngoài.

Việc gắn các điện cực để đo hoặc dò mực chất lỏng được thực hiện giống như trường hợp cảm biến đo độ dẫn điện. Việc đo và dò mực chất lỏng dễ nhiên dẫn đến một sự thay đổi điện dung quan trọng nếu hằng số điện môi ϵ_r của chất lỏng lớn hơn giá trị của môi trường không khí. Người ta thường sử dụng phương pháp này với điều kiện $\epsilon_r > 2$. Trường hợp chất lỏng dẫn điện, người ta chỉ sử dụng một điện cực được bao phủ bằng vật liệu cách điện, đóng vai trò điện môi của tụ điện và bẩn cực còn lại được hình thành do sự tiếp xúc với chất lỏng dẫn điện.

Chương 9

ĐO ĐẠI LƯỢNG QUANG

9.1 CÁC ĐẶC TÍNH RIÊNG CỦA CẢM BIẾN QUANG

Các cảm biến quang cho phép tạo ra các tín hiệu điện khi nó nhận được các nguồn sáng có độ dài sóng nằm trong hoặc gần kề với vùng ánh sáng thấy được.

Tín hiệu điện ở đầu ra của cảm biến quang thông thường có dạng dòng điện. Giá trị dòng điện và những sự biến đổi theo các thông số phụ thuộc vào cấu tạo cảm biến.

9.1.1 Dòng điện vùng tối

Đó là dòng điện thường được tạo ra bằng sự bố trí cảm biến quang trong vùng tối và được phân cực trong những điều kiện xác định.

Dòng điện vùng tối có hai nguồn gốc chính:

Nguồn gốc bên trong: tạo bởi những điện tích tự do. Do sự kích thích nhiệt, tiến trình này trở nên quan trọng ở nhiệt độ cho trước khi chiều dài bước sóng riêng λ_S của vật liệu khá lớn, nói cách khác năng lượng ion hóa khá nhỏ (đó là trường hợp các vật liệu nhạy đối với các tia bức xạ hồng ngoại).

Nguồn gốc bên ngoài: tạo bởi tia bức xạ nhiệt, trong vùng tia hồng ngoại, do môi trường chung quanh bức xạ và được tiếp nhận với cảm biến sẽ xảy ra hiệu ứng quang điện khi cảm biến nhạy đối với các tia bức xạ.

Kết quả dòng điện vùng tối đặc trưng:

□ Độ nhạy đối với nhiệt độ, điều này nguy hiểm do việc dòng nhiệt điện có thể trộn lẫn với những thay đổi chậm của tín hiệu.

□ Những dao động quanh một trị giá trung bình.

Như thế sẽ có lợi khi chọn và sử dụng cảm biến sao cho dòng điện vùng tối rất thấp so với dòng quang điện cực tiểu của tín hiệu. Điều này dẫn đến

những cảm biến nhạy đối với tia bức xạ hồng ngoại phải đặt trong một hộp làm nguội, một mặt để giảm sự kích thích nhiệt, mặt khác để giới hạn sự tiếp xúc với tia bức xạ của môi trường chung quanh.

9.1.2 Độ nhạy

Quang thông của tín hiệu quang được tiếp nhận nhờ cảm biến tạo ra một dòng quang điện I_p cộng thêm với dòng điện vùng tối I_o , xác định dòng điện I chạy qua cảm biến: $I = I_o + I_p$

Dòng điện I_p cho biết đặc tính đáp ứng của cảm biến đối với tia bức xạ tiếp nhận. Nó tùy thuộc vào một phần cấu tạo của cảm biến, mặt khác phụ thuộc vào loại tia bức xạ, thành phần phổ và quang thông.

Khi I_o không đổi, sự biến thiên ΔI của dòng điện cảm biến bằng sự biến thiên ΔI_p của dòng quang điện.

Cảm biến dưới tác động của quang thông Φ tạo ra dòng quang điện I_p , độ nhạy của cảm biến được xác định bằng tỉ số ΔI với sự thay đổi đại lượng đo $\Delta\Phi$: $S = \Delta I / \Delta\Phi = \Delta I_p / \Delta\Phi$

Tùy theo đơn vị quang thông, độ nhạy được diễn tả bởi A/W hay A/lumen hoặc A/lux khi quang thông đặc trưng bằng chiếu độ mà nó tạo ra.

Đối với cảm biến tuyến tính, độ nhạy độc lập đối với Φ và bằng độ nhạy tĩnh: $S = I_p / \Phi$

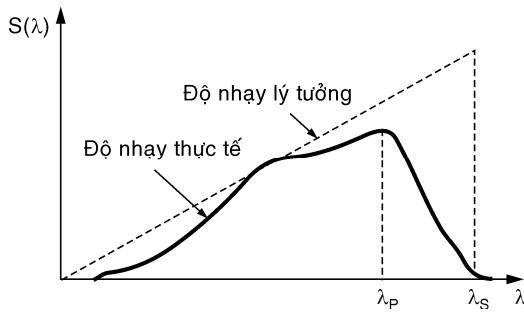
1- Độ nhạy phổ $S(\lambda)$

Đó là độ nhạy cảm biến khi tia bức xạ nhận được là đơn sắc, nó được đặc trưng bởi độ dài sóng λ : $S(\lambda) = \Delta I_p / \Delta\Phi(\lambda)$

Đối với cảm biến tuyến tính: $S(\lambda) = I_p / \Phi(\lambda)$

Đường cong đáp ứng phổ cho biết sự biến thiên theo bước sóng của độ nhạy tương đối: $S(\lambda) / S(\lambda_p)$ với λ_p là bước sóng có độ nhạy phổ cực đại.

Một sự áp dụng lý thuyết cho phép dự đoán dạng đường cong độ nhạy phổ.



Hình 9.1: Dạng tổng quát đường cong độ nhạy phổ

□ Với $\lambda > \lambda_S$ (λ_S : độ dài bước sóng riêng) dòng điện I_p về nguyên tắc bằng không.

□ Với $\lambda \leq \lambda_S$, dòng điện I_p tỉ lệ với số điện tích tự do G trong một giây: $I_p \sim G = \frac{\eta}{hC} S(\lambda)$

với: $S(\lambda) \sim \frac{\eta(1-R)\lambda}{hC}$ và $\frac{S(\lambda)}{S(\lambda_p)} = \frac{\lambda}{\lambda_p}$ với $\lambda_p = \lambda_S$.

η và R tùy thuộc vào λ , đường cong đáp ứng phổ có dạng như phuong trình trên.

2- Độ nhạy tổng cộng S_t : đó là độ nhạy cảm biến quang khi nhận tín hiệu quang không phải đơn sắc, mà tùy thuộc một phần vào độ nhạy phổ của cảm biến đối với các độ dài sóng của tia bức xạ nhận được, mặt khác phụ thuộc vào sự phân bố phổ. Biểu thức độ nhạy tổng cộng có thể biểu diễn dễ dàng, giả sử cảm biến tuyến tính: $S_t = I_p/\Phi$. Dòng điện I là tổng các dòng điện $dI_p(\lambda)$ đối với các độ dài sóng nhận được, nếu $d\Phi(\lambda)$ là quang thông trong khoảng λ và $\lambda + d\lambda$:

$$dI_{P(\lambda)} = S(\lambda) \cdot d\Phi(\lambda); \quad d\Phi(\lambda) = [d\Phi(\lambda)/d\lambda] d\lambda$$

với: $d\Phi(\lambda)/d\lambda$ - mật độ phổ của quang thông có độ dài sóng λ , cho phép diễn tả quang thông tổng cộng nhận được.

$$\Phi = \int_{\lambda_1}^{\lambda_2} \left[\frac{d\Phi(\lambda)}{d\lambda} \right] d\lambda$$

với: λ_1, λ_2 - độ dài sóng giới hạn của phổ tia bức xạ.

Dòng điện tổng cộng I_p có giá trị :

$$I_P = \int_{\lambda_1}^{\lambda_2} S(\lambda) \left[\frac{d\Phi(\lambda)}{d\lambda} \right] d\lambda$$

Độ nhạy tổng cộng lý thuyết là:

$$S_t = \frac{\int_{\lambda_1}^{\lambda_2} S(\lambda) \left[\frac{d\Phi(\lambda)}{d\lambda} \right] d\lambda}{\int_{\lambda_1}^{\lambda_2} \left[\frac{d\Phi(\lambda)}{d\lambda} \right] d\lambda}$$

Độ nhạy tổng cộng dĩ nhiên luôn nhỏ hơn độ nhạy phổ cực đại $S(\lambda_p)$.

9.2 ĐIỆN TRỞ QUANG

Cảm biến dạng điện trở này được đặc trưng nhờ ảnh hưởng của quang thông bức xạ nhận được và sự phân bố phổ tác động lên giá trị điện trở cảm biến. Với một mạch biến đổi đi kèm, điện trở quang là một trong số những cảm biến quang có độ nhạy cao. Hiệu ứng vật lý được sử dụng đó là: quang dẫn điện - kết quả của hiệu ứng quang điện bên trong. Sự phóng thích các điện tích bên trong các vật liệu dưới tác động của nguồn sáng và hệ quả là sự dẫn điện gia tăng.

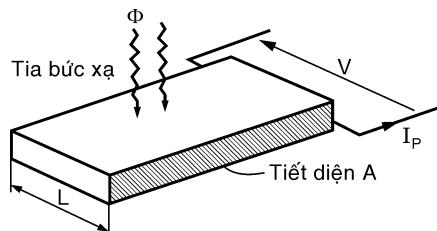
9.2.1 Hiệu ứng vật lý

Xét một thanh bán dẫn có thể tích V , chứa các nguyên tử chất cho (*donneurs*) có mật độ N_d , ở mức năng lượng kém hơn W_d so với mức năng lượng vùng dẫn.

Ta giả sử W_d khá lớn để cho ở điều kiện nhiệt độ môi trường bình thường và trong vùng tối các donneurs bị ion hóa do hiệu ứng nhiệt là rất bé.

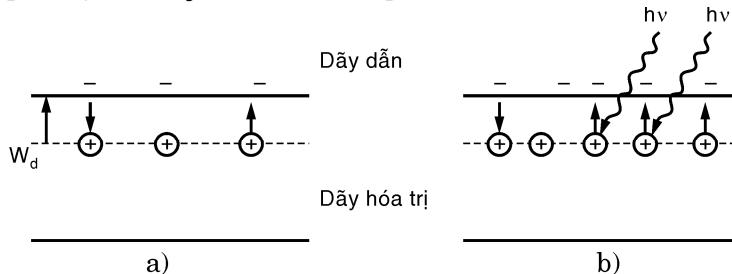
Trong vùng tối, mật độ các âm điện tử được phóng thích trong đơn vị thời gian do hiệu ứng nhiệt của các nguyên tử chất cho, tỉ lệ với mật độ các nguyên tử chất cho không bị ion hóa:

$$a (N_d - n_o) \text{ với } a \sim \exp(-qWd/KT)$$



Hình 9.2: Nguyên tắc của hiện tượng quang điện

☐ Số âm điện tử tái hợp trong đơn vị thời gian với các nguyên tử ion hóa, tỉ lệ với mật độ nguyên tử ion hóa n_o , và mật độ các âm điện tử, như vậy tỉ lệ với bình phương n_o : $r \cdot n_o^2$; r : hệ số tái hợp.



Hình 9.3: Sự dịch chuyển điện tử trong chất bán dẫn

a) Trong vùng tối; b) Trong vùng sáng

Sự thay đổi mật độ âm điện tử tự do được diễn tả bằng phương trình:

$$dn_o/dt = a(N_d - n_o) - rn_o^2$$

Ở trạng thái cân bằng thường trực, ta có: $dn_o/dt = 0$

với:
$$n_o = -\frac{a}{2r} + [\frac{a^2}{4r^2} + \frac{aN_d}{r}]^{1/2}$$

Sự dẫn điện vùng tối được diễn tả: $\sigma_o = q\mu n_o$.

q - trị giá tuyệt đối điện tích của âm điện tử.

μ - độ linh động của âm điện tử.

Khi nhiệt độ gia tăng, độ linh động giảm nhưng mật độ n_o gia tăng nhiều do hiệu ứng nhiệt và kết quả là sự dẫn điện gia tăng.

Khi chất bán dẫn được chiếu sáng, các photon có năng lượng $h\nu \geq W_d$ ion hóa các donneurs tạo ra g âm điện tử trong một đơn vị thời gian bởi một đơn vị thể tích, cộng thêm các điện tử tự do, do sự kích thích nhiệt.

$$g = \frac{G}{V} = \frac{1}{A \cdot L} \cdot \frac{\eta(1-R)}{h\nu} \Phi$$

với:
$$V = A \cdot L \quad (G = \eta n_a = \eta(1-R) \cdot \frac{\lambda \Phi}{hC})$$

n_a - số phôton hấp thụ trong một giây

η - hiệu suất lượng tử

R - hệ số phản chiếu của vật liệu.

Phương trình động học trở thành: $dn/dt = a(N_d - n) + g - rn^2$

Tia bức xạ tạo ra các điện tử tự do thường rất lớn so với các điện tử gây ra bởi sự kích thích nhiệt: $g \ll a(N_d - n)$; $n \ll n_o$. Với điều kiện trên, đơn giản phương trình ta có được mật độ điện tử tự do dưới tác động của nguồn sáng: $n = (g/r)^{1/2}$. Sự dãn điện liên quan đến $\sigma = q\mu n$, như vậy sự dãn điện tỉ lệ không tuyến tính đối với quang thông, nó thay đổi tỉ lệ với $\Phi^{1/2}$.

9.2.2 Hệ số độ lợi

Số điện tử tái hợp mỗi giây trong một đơn vị thể tích tỉ lệ thuận với mật độ điện tử hiện diện n , và tỉ lệ nghịch với đời sống của nó τ_n , như vậy số điện tử tái hợp tỉ lệ với n/τ_n .

Khi cân bằng, số điện tử tái hợp mỗi giây n/τ_n trong một đơn vị thể tích bằng với số điện tử phóng thích g bởi tia bức xạ trong một đơn vị thể tích, ta có: $n = g\tau_n$.

Với τ_n là một hàm theo quang thông.

Điện trở R của điện trở quang được tính:

$$R = \frac{1}{\sigma} \cdot \frac{L}{A} = \frac{1}{q\mu n} \cdot \frac{L}{A}$$

Khi cung cấp điện áp V , dòng I_p chạy qua điện trở quang:

$$I_p = q\mu n \frac{A}{L} \cdot V$$

Cường độ điện trường: $E = \frac{V}{L}$

Các điện tử di chuyển với vận tốc trung bình: $v = \mu E$

Thời gian di chuyển của điện tử: $\tau_{tr} = \frac{L}{v}$

Dòng điện I_p có thể được viết lại:

$$I_p = q \frac{\tau_n}{\tau_{tr}} G = q F G$$

Như vậy dòng điện I_p chạy qua điện trở quang lớn gấp F lần điện tích được tạo ra mỗi giây, F là hệ số độ lợi và trị giá của nó vào khoảng 10^5 , điều này giải thích các điện trở quang có độ nhạy cao.

Ta có thể viết lại như sau:

$$F = \frac{\tau_n}{\tau_{tr}} = \frac{\tau_n \mu V}{L^2}$$

Như vậy dòng điện I_p , kết quả của hiệu ứng quang điện, càng lớn khi:

- Dời sóng τ_n của các điện tử tự do càng dài
- Điện áp cung cấp cho điện trở quang càng lớn
- Chiều rộng L của điện trở quang càng ngắn.

9.2.3 Vật liệu sử dụng

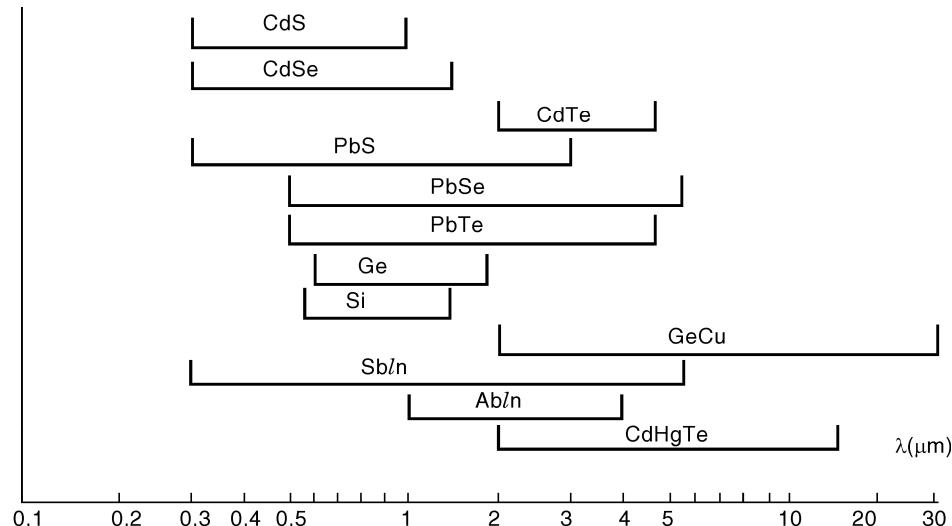
Điện trở quang được chế tạo nhờ các vật liệu bán dẫn đồng nhất đa tinh thể hoặc đơn tinh thể, tinh chất hoặc có tạp chất (dopé).

Vật liệu đa tinh thể: CdS, CdSe, CdTe, PbS, PbSe, PbTe.

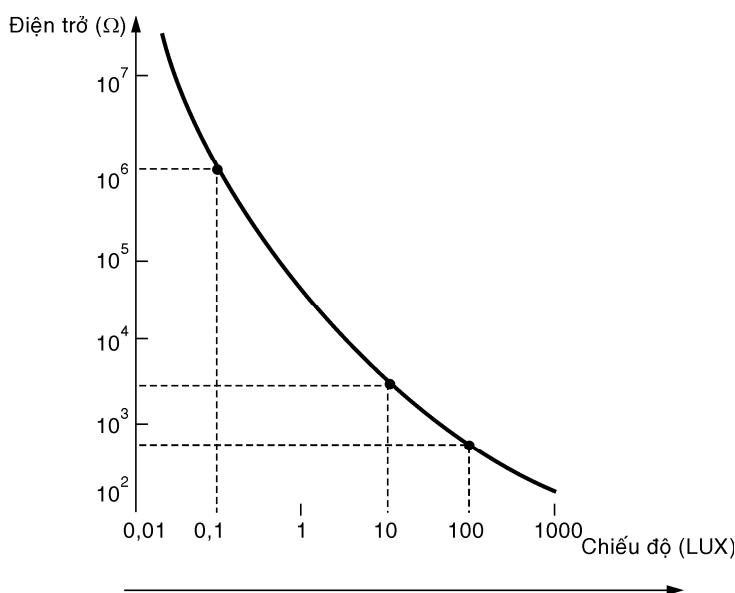
Vật liệu đơn tinh thể: Ge và Si tinh chất hoặc dopé bởi Au, Cu, Sb, Zn, SbIn, AsIn, PIn, CdHgTe.

9.2.4 Đặc tính của điện trở quang

1- Điện trở



Hình 9.4: Vùng phổ sử dụng đối với các vật liệu
điện trở quang khác nhau



Hình 9.5: Sự thay đổi của điện trở quang dưới tác động của nguồn sáng

Giá trị điện trở vùng tối R_o tùy thuộc dạng hình học, kích thước, nhiệt độ và thành phần lý hóa của điện trở quang. Có giá trị rất cao (10^4 đến $10^9 \Omega$ ở 25°C) đối với PbS, CdSe, CdS. Có giá trị tương đối thấp (10 đến $10^3 \Omega$ ở 25°C) đối với SbIn, SbAs, CdHgTe.

Điện trở R_c của điện trở quang dưới tác dụng của tia bức xạ giảm rất nhanh theo chiều độ.

Điện trở quang có thể được biểu diễn bởi sơ đồ mạch tương đương gồm điện trở vùng tối R_{Co} , đặt song song với điện trở R_{CP} được xác định bởi hiệu ứng quang điện có dạng:

$$R_{CP} = a \Phi^{-\gamma}$$

với: a tùy thuộc vào vật liệu, nhiệt độ và phổ của tia bức xạ

γ thường có giá trị trong khoảng 0,5 và 1.

Trong những điều kiện này R_C có thể viết:

$$R_C = \frac{R_{Co} R_{Cp}}{R_{Co} + R_{Cp}} = \frac{R_{Co} \cdot a \Phi^{-\gamma}}{R_{Co} + a \Phi^{-\gamma}}$$

trong điều kiện thường sử dụng $R_{cp} \ll R_o$, ta có: $R_C = a \Phi^{-\gamma}$

Sự thay đổi điện trở theo quang thông không tuyến tính, có thể tuyến tính hóa trong một vùng quang thông giới hạn, nhờ một điện trở cố định đặt song song với điện trở quang.

Điện trở R_C dưới tác động nguồn sáng tùy thuộc vào nhiệt độ, tuy nhiên độ nhạy nhiệt quá bé so với tác dụng của nguồn sáng.

2- Công suất tiêu tán

Công suất cực đại tiêu tán $\text{c} \text{W}$ đổi với mm^2 bề mặt cảm biến. Sự thay đổi công suất tiêu tán P_d theo hoạt động của R_C tùy thuộc vào nguồn cung cấp.

Điện áp V cung cấp không đổi: $P_d = V^2/R_C$

Dòng điện I cung cấp không đổi: $P_d = R_C I^2$.

Cung cấp bởi nguồn sức điện động E_S nối tiếp với điện trở R_S .

$$P_d = \frac{R_C E_S^2}{(R_S + R_C)^2}; P_{d_{\max}} = \frac{E_S^2}{4R_S} \text{ khi } R_C = R_S$$

Sự đốt nóng làm giới hạn công suất tiêu tán có thể chấp nhận được.

Việc sử dụng bộ phận giải nhiệt cho phép làm giảm sự gia tăng nhiệt độ nhưng làm kích thước cổng kẽm.

3- Độ nhạy điện trở quang

Theo sơ đồ mạch điện tương đương của điện trở quang, độ dẫn điện G_c của điện trở quang: $G_c = G_{co} + G_{cp}$

với: $G_{co} = \frac{1}{R_{co}}$: độ dẫn điện vùng tối

$G_{cp} = \frac{1}{R_{cp}} = \frac{1}{a} \Phi^\gamma$: độ dẫn điện do hiệu ứng quang điện.

Gọi V là điện áp cung cấp, dòng điện I chạy qua điện trở quang:

$$I = G_c V = G_{co} V + G_{cp} V = I_o + I_p$$

với: $G_{co} V = I_o$: dòng điện vùng tối

$G_{cp} V = I_p$: dòng điện hiệu ứng quang điện.

Trong điều kiện sử dụng thông thường: $I_o \ll I_p$ và $I = I_p = \frac{V}{a} \Phi^\gamma$

Trừ trường hợp đặc biệt $\gamma = 1$, dòng điện I không tuyến tính theo quang thông bức xạ. Đối với quang thông bức xạ có phân bố phổ được xác định, tỷ số

$$\text{biến đổi tĩnh: } \frac{I}{\Phi} = \frac{V}{a} \Phi^{\gamma-1}$$

Độ nhạy: $\frac{\Delta I}{\Delta \Phi} = \gamma \frac{V}{a} \Phi^{\gamma-1}$, ta nhận thấy:

- Độ nhạy có độ lớn bằng với tỷ số biến đổi tinh nhânh với γ .

- Điện trở quang là một cảm biến không tuyến tính, trừ trường hợp đặc biệt $\gamma = 1$, độ nhạy giảm khi quang thông tăng, tuy nhiên cảm biến có thể coi như tuyến tính đối với "tín hiệu nhỏ" khi mà tín hiệu có quang thông thay đổi bé xung quanh một trị số không đổi lớn.

- Độ nhạy tỉ lệ thuận với điện áp V cung cấp, điều này chỉ có ý nghĩa khi V có trị số tương đối nhỏ bởi vì hiệu ứng Joule tỉ lệ với V sẽ làm tăng nhiệt độ của cảm biến, mà sự gia tăng nhiệt độ sẽ làm giảm độ nhạy. Khi tia bức xạ đơn sắc, dòng I_p dưới tác động quang thông cho trước là một hàm theo λ :

$$I_p = qFG$$

với: F - độ lợi; G - số điện tích tạo ra trong 1 giây.

$$\Rightarrow I_p = q \frac{\tau_n \mu V}{L^2} \cdot \eta \frac{(1-R)\lambda}{hC} \cdot \Phi(\lambda) \quad (\lambda \leq \lambda_s)$$

với: τ_n là một hàm theo $\Phi(\lambda)$; η, R phụ thuộc vào λ .

Độ nhạy phổ $S(\lambda) = \frac{\Delta I}{\Delta \Phi(\lambda)}$ thường được xác định bằng trị giá tương đối bởi đường cong đáp ứng phổ; độ lớn của độ nhạy phổ cực đại (tùy thuộc vào vật liệu), có trị số trong khoảng 10^{-1} đến 10^2 A/W đối với điện áp cung cấp 10V và bề mặt tiếp nhận ánh sáng 1 cm^2 .

Độ nhạy phổ $S(\lambda)$ là một hàm theo nhiệt độ, khi nhiệt độ giảm người ta nhận thấy giá trị $S(\lambda)$ gia tăng.

Khi tia bức xạ không đơn sắc, độ nhạy tổng cộng S_t phụ thuộc vào phân bố phổ của quang thông và đường cong đáp ứng phổ của cảm biến.

4- Thời gian đáp ứng của điện trở quang

Thời gian đáp ứng của điện trở quang cho phép xác định tính nhanh của cảm biến được hiểu là thời gian cần thiết để điện trở quang thay đổi trị số khi có sự thay đổi đột ngột quang thông bức xạ.

Thời gian đáp ứng của cảm biến khác với thời gian đáp ứng của mạch điện được hình thành từ nhóm các điện trở, tụ điện trong mạch điện bao gồm cả điện trở quang và được ấn định bởi hằng số thời gian RC của mạch điện.

Thời gian đáp ứng của điện trở quang thường lớn hơn hằng số thời gian của mạch điện. Thời gian đáp ứng của điện trở quang tùy thuộc vào vật liệu và cách chế tạo:

$0,1\mu s$ đối với SnIn, AsIn, CdHgTe

$0,1 \div 100ms$ với PbS, PbSe, CdSe

Thời gian đáp ứng giảm khi sự thay đổi độ sáng gia tăng.

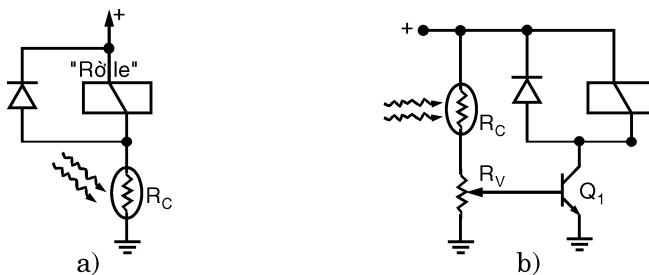
5- *Ứng dụng điện trở quang*

Sử dụng điện trở quang có những điểm lợi là độ nhạy cao, cách măc dây sử dụng đơn giản.

Những điều bất lợi là:

- Đáp ứng không tuyến tính đối với quang thông
- Thời gian đáp ứng tương đối cao, băng thông giới hạn
- Cần phải làm nguội đối với một vài loại cảm biến
- Đặc tính không ổn định (do sự bão hòa).

Điện trở quang được áp dụng chính trong việc nghiên cứu, không dùng để xác định chính xác mức độ quang thông mà dùng để diễn tả các mức độ quang thông khác nhau (tối – sáng, các xung ánh sáng). Tuy nhiên việc sử dụng chúng để đo lường ánh sáng có thể thực hiện được với điều kiện các đặc tính của chúng được xác định trước chính xác và ổn định.



Hình 9.6: Cách măc điện trở quang điều khiển relé

a) Điều khiển trực tiếp; b) Điều khiển nhờ nối với transistor khuếch đại

Việc đo các điện trở quang hay phân tích sự thay đổi điện trở quang có thể thực hiện được nhờ một trong những mạch biến đổi cảm biến điện trở:

Nguồn cung cấp không đổi, cách măc phân áp, cầu Wheatstone, mạch khuếch đại, mạch dao động RC.

Một vài ví dụ về ứng dụng điện trở quang:

- *Điều khiển*: sự tiếp nhận lượng sáng lớn hơn mức độ định trước, sẽ làm điện trở cảm biến giảm nhiều, kéo theo sự xuất hiện dòng điện I trong mạch một cách trực tiếp, hoặc nhờ một mạch khuếch đại, thiết bị sẽ thay đổi giữa hai trạng thái:

- Mở và đóng một rờ le.
- Ngừng hoặc dẫn Thyristor v.v...

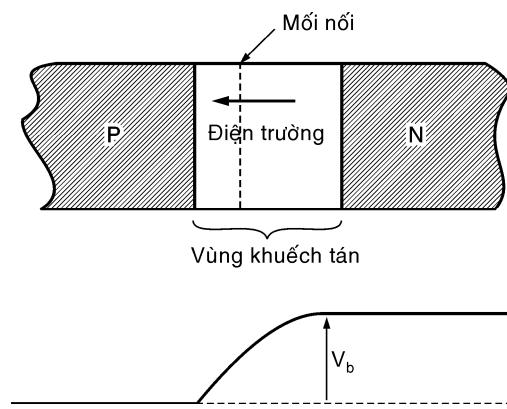
- *Tiếp nhận tín hiệu quang*: điện trở quang và mạch biến đổi cho phép biến đổi các xung ánh sáng nhận được thành các xung điện (trong các thiết bị đếm, thiết bị đo vận tốc quay nhờ một đĩa trên trục quay).

9.3 DIOD QUANG

9.3.1 Cấu tạo và nguyên lý hoạt động

Ta biết rằng ở hai bên mối nối bán dẫn loại P hoặc N sẽ có một sự khuếch tán các điện tích tự do cho đến khi đạt sự cân bằng do sự hình thành một điện trường. Ở hai bên mối nối hình thành một điện áp mối nối V_b .

Nếu không có điện áp bên ngoài tác động vào, dòng điện chạy qua mối nối bằng không.



Hình 9.7: Mối nối PN và điện áp mối nối

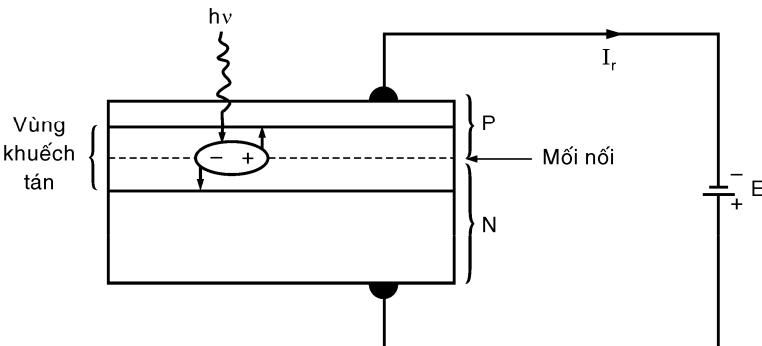
Khi áp vào mối nối một điện áp bên ngoài sẽ làm thay đổi điện áp mối nối kéo theo sự thay đổi dòng điện do sự xuất hiện các điện tích tự do, do sự ion hóa các chất dopé và làm thay đổi bê rộng của vùng khuếch tán.

Khi điện áp V_d áp vào mối nối, dòng điện I chạy qua mối nối.

$$I = I_o \exp\left(\frac{qV_d}{K_T}\right) - I_o$$

Đối với điện áp ngược đủ lớn, dòng điện do các điện tích tự do của chất dopé trở nên không đáng kể và chỉ có dòng I_o do các điện tích tạo bởi tác động nhiệt, đó chính là dòng điện ngược của diod: $I_r = I_o$.

Khi diod chịu tác động của tia bức xạ có độ dài sóng $\lambda \leq \lambda_S$ (λ_S : độ dài sóng riêng) sẽ dẫn đến xuất hiện các cặp điện tử lỗ trống. Để cho các điện tích này có thể tạo nên dòng điện, điều cần thiết là tránh hiện tượng tái hợp, do vậy đòi hỏi phải tách chúng nhanh nhờ một điện trường. Trường hợp này chỉ có thể xảy ra trong vùng khuếch tán và sự dịch chuyển các điện tích cùng chiều với các điện tích tạo bởi hiệu ứng nhiệt dẫn đến một sự gia tăng dòng điện ngược.



Hình 9.8: Cặp điện tử - lỗ trống được tạo ra do hiệu ứng quang điện trong vùng khuếch tán của mối nối PN

Tia bức xạ đi đến vùng khuếch tán của mối nối không được giảm nhiều. Quang thông Φ truyền đi giảm dần theo bề dày truyền qua.

$\Phi(x) = \Phi_0 \exp(-\alpha x)$, với α vào lối 10^5 cm^{-1} , điều này tương ứng với độ giảm 63% đối với bề dày truyền qua cỡ 10^3 A^0 . Khi thực hiện diod quang cần lưu ý:

- Vùng khuếch tán phải rộng để việc hấp thu tia bức xạ được lớn.
- Chất bán dẫn được chiếu sáng phải rất mỏng để sự truyền quang thông dễ dàng.

Các vật liệu cơ bản cho việc chế tạo diod quang – silicium và Germanium đối với tia bức xạ trong vùng ánh sáng thấy được và gần vùng hồng ngoại, GaAs, InAs, InSb, HgCdTe đối với tia bức xạ trong vùng hồng ngoại.

9.3.2 Cách hoạt động

1- Cách măc diod quang

Cách măc cơ bản gồm nguồn E_S , diod được phân cực nghịch, và điện trở R_m ở hai đầu điện trở ta thu tín hiệu.

- Khi $V_d < 0$: điện áp nghịch đưa vào diod, dòng điện nghịch I_r chạy qua diod được diển tả.

$$I_r = -I_o \exp\left(\frac{qV_d}{KT}\right) + I_o + I_p$$

I_p : dòng điện tạo ra do hiệu ứng quang điện trong vùng khuếch tán do quang thông truyền qua vùng P bề dày X:

$$I_p = \frac{q\eta(1-R)\lambda}{h.C} \Phi_o \exp(-\alpha X)$$

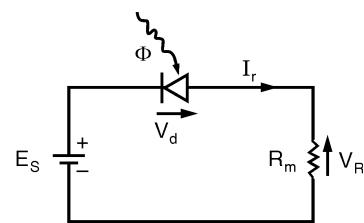
Các thông số trong biểu thức trên đã được xác định. Với điện áp ngược V_d đủ lớn, thành phần hàm mũ trở nên không đáng kể, ta có:

$$I_r = I_o + I_p$$

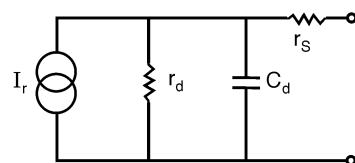
Ngoại trừ nguồn sáng quá yếu, ta có: $I_r = I_p$

Ta có phương trình cân bằng: $E_S = V_R - V_d$, với $V_R = R_m I_r$.

Cách hoạt động diod quang thì tuyến tính vì điện áp V_R giống như I_r tỉ lệ với quang thông. Người ta biểu diễn diod quang bằng sơ đồ mạch điện tương đương.



Hình 9.9: Cầu chì maéc cõ baún



Hình 9.10: Sô ñoà maich ñieän tööng ñööng cuúa diod quang

Sơ đồ gồm:

- Nguồn dòng $I_r = I_o + I_p$.
- Điện trở r_d song song với nguồn dòng, nó đặc trưng cho điện trở động mối nối.

Trong cách măc điện trở quang diod được phân cực nghịch r_d có trị số rất cao vào cỡ $10^{10} \Omega$.

□ Điện trở r_s măc nối tiếp: đó là điện trở các phần tử bán dẫn ở giữa hai đầu diod và vùng khuếch tán, r_s có trị số cỡ vài chục Ω và không đáng kể so với điện trở R_m .

□ Điện dung C_d song song với r_d , điện dung có trị giá cỡ vài chục pF khi chưa có điện áp đưa vào mối nối, điện dung này giảm khá nhiều khi có điện áp ngược đưa vào diod theo cách măc điện trở quang.

2- Cách măc điện áp quang (photovoltaic)

Không có sự phân cực do nguồn bên ngoài cung cấp, diod đóng vai trò biến đổi năng lượng, tương đương một máy phát, người ta đo điện áp hở mạch hoặc dòng điện ngắn mạch.

□ Điện áp hở mạch V_{Co} :

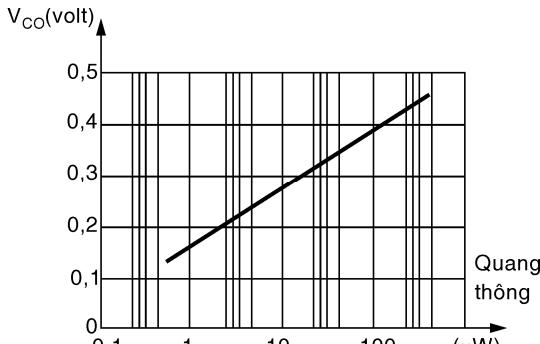
$$V_{Co} = \frac{KT}{q} \log\left(1 + \frac{I_p}{I_o}\right)$$

Điện áp hở mạch thay đổi theo quang thông tác động.

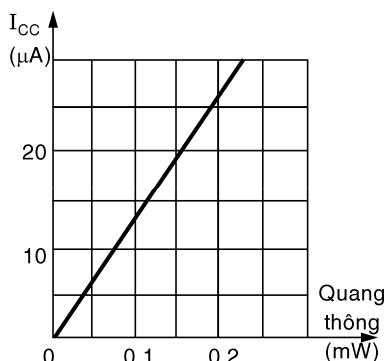
□ Nguồn sáng yếu: $I_p \ll I_o$

$$\Rightarrow V_{Co} = \frac{KT}{q} \cdot \frac{I_p}{I_o}$$

□ Điện áp V_{Co} , trong trường hợp này rất bé và tuyến tính theo quang



Hình 9.11: Diod quang vōùi caùch maéc ñieän àüp quang: Ñieän àüp hôù maïch theo quang thoâng böùc voi



Hình 9.12: Diod quang vōùi caùch maéc ñieän àüp quang: Doäng ngaén maïch theo quang thoâng böùc xaï

thông nhận được bởi diod ($KT/q = 26mV$ khi $T = 300^{\circ}K$).

□ Nguồn sáng mạnh:

$$I_p \ll I_o ; V_{Co} = \frac{KT}{q} \log\left(\frac{I_p}{I_o}\right)$$

Điện áp V_{Co} trong trường hợp này rất quan trọng ($0,1 \rightarrow 0,6V$) nhưng tỉ lệ với logarit theo quang thông nhận được.

Điện áp V_{Co} có thể đo được trong thực tế khi điện trở tải R_m có trị số rất lớn so với r_d .

Đo dòng điện ngắn mạch I_{CC} : Khi ta mắc hai đầu diod với điện trở R_m có trị giá nhỏ hơn r_d , dòng điện chạy qua trong mạch là I_p , đó là dòng điện ngắn mạch của diod và dòng điện này tỉ lệ với quang thông tác dụng.

Dòng điện ngắn mạch thay đổi theo quang thông tác động.

Đặc tính quan trọng của cách măc điện áp quang là do không có điện áp phân cực nên không có dòng điện vùng tối, điều này cho phép đo những quang thông rất yếu.

Bảng tóm tắt đặc tính của diod quang theo cách măc khác nhau

Tia bức xạ	Cách măc diod quang	Cách măc điện áp quang
	Nguồn phân cực nghịch	Không có nguồn phân cực.
Quang thông bé	$I_r = I_o + I_p$	$V_{Co} = \frac{KT}{q} \cdot \frac{I_p}{I_o}; I_{CC} = I_p$
Quang thông lớn	$I_r = I_p$	$V_{Co} = \frac{KT}{q} \cdot \log \frac{I_p}{I_o}; I_{CC} = I_p$
	Điện dung C_d giảm	Điện dung C_d lớn

9.3.3 Dòng điện vùng tối của diod quang

Dòng điện vùng tối I_o trong cách măc điện áp quang có độ lớn cỡ nA ở nhiệt độ môi trường. Dòng quang điện I_p có độ lớn xấp xỉ với I_o khi tiếp nhận những quang thông yếu trong khoảng 10^{-8} đến $10^{-10} W$ tùy theo loại cảm biến. Tuy nhiên dòng điện I_o sẽ tăng nhanh khi nhiệt độ tăng, điều này dẫn đến điện áp V_{Co} với cánh măc điện áp quang nhạy với nhiệt độ, hệ số nhiệt độ của nó $\frac{1}{V_{Co}} \cdot \frac{dV_{Co}}{dt}$ vào khoảng $-0,8\%/{\circ}C$.

9.3.4 Độ nhạy

Đối với nguồn sáng có thành phần phổ được xác định, dòng quang điện I_p được xác định chính xác tỉ lệ thuận với quang thông bức xạ, dòng I_p tỉ lệ tuyến tính với quang thông bức xạ. Độ nhạy phổ:

$$S(\lambda) = \frac{\Delta I_p}{\Delta \Phi} = \frac{q\eta(1-R)\exp(-\alpha X)}{hC} \lambda; \quad (\lambda \leq \lambda_s)$$

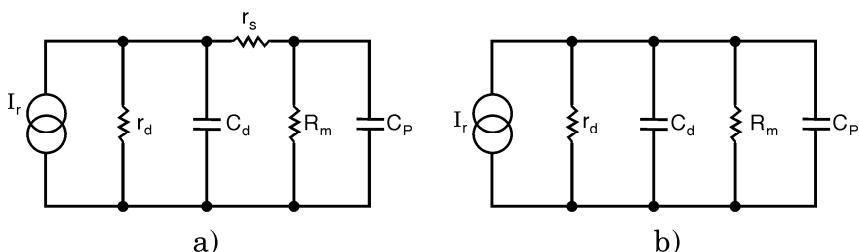
Rõ ràng $S(\lambda)$ phụ thuộc vào λ , vào hiệu suất lượng tử η , hệ số phản chiếu R và hệ số hấp thu α .

Đối với mỗi loại diod quang, độ nhạy phổ được xác định dựa trên đường cong đáp ứng phổ $S(\lambda)/S(\lambda_p)$ (λ_p là độ dài sóng có độ nhạy phổ cực đại) và dựa trên trị giá $S(\lambda_p)$; $S(\lambda_p)$ thường có trị giá trong khoảng $0,1 \div 1 A/W$. Sự giống nhau của biểu thức dòng quang điện I_p trong hai cách mắc điện trở quang và điện áp quang ($I_{\infty} = I_p$) dẫn đến sự giống nhau của độ nhạy phổ trong hai cách mắc.

Độ nhạy phổ chịu ảnh hưởng của nhiệt độ, độ nhạy có thay đổi nhỏ khi nhiệt độ gia tăng, do lúc này độ dài sóng λ_p có độ nhạy phổ cực đại di chuyển chậm theo chiều λ tăng, hệ số nhiệt độ của dòng quang điện $\frac{1}{I_p} \cdot \frac{dI_p}{dT}$ vào cỡ $0,1\%/\text{ }^{\circ}\text{C}$.

9.3.5 Thời gian đáp ứng

Sự xuất hiện dòng quang điện rất nhanh ngay khi diod quang được chiếu sáng: thời gian trễ t_{dm} vào khoảng 10^{-12} giây. Tuy nhiên, sự tăng nhanh của dòng điện được đo bởi thời gian lên t_m (hoặc khi dòng điện giảm do không được chiếu sáng ta đo thời gian xuống t_c) được xác định bởi sơ đồ tương đương của diod và mạch đo đi kèm (H.9.12bis), trong mạch điện thông thường điện trở R_m được mắc song song với điện dung ký sinh C_p hình thành do dây cáp chằng hạn (H.9.12bis).



Hình 9.12bis: Sơ đồ tương đương của diod quang và mạch đo đi kèm

a) Sơ đồ đầy đủ; b) Sơ đồ đơn giản

Để đơn giản việc tính toán, điện trở r_s có trị số thường không lớn hơn cỡ chục ohm nên ta có thể bỏ qua, hằng số thời gian τ của mạch điện:

$$\tau = (C_d + C_p) \frac{r_d R_m}{r_d + R_m}$$

do $R_m \ll r_d \approx 10^{11} \Omega$, ta có:

$$\tau = (C_d + C_p) R_m$$

Hằng số thời gian τ liên quan đến t_m và t_c tùy thuộc vào:

- Cách măc diod quang, nó xác định trị số C_d .
- Trị số điện trở tải R_m .

Với diod quang 4203 (Hãng Hewlett Packard) trong cách măc với $C_p = 2 pF$ và $R_m = 50\Omega$, ta có:

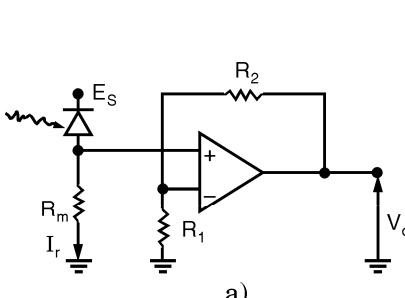
- Với cách măc điện trở quang: $t_m = t_c = 2,2\tau < 1ns$
- Với cách măc điện áp quang: $t_m = t_c = 2,2\tau = 300ns$

với cách măc điện trở quang, điện dung C_d giảm do việc sử dụng điện áp phân cực ngược, điều này dẫn đến thời gian đáp ứng rất ngắn và chính vì vậy cách măc điện trở quang được sử dụng cho trường hợp quang thông bức xạ hiện diện dưới dạng những xung cực ngắn.

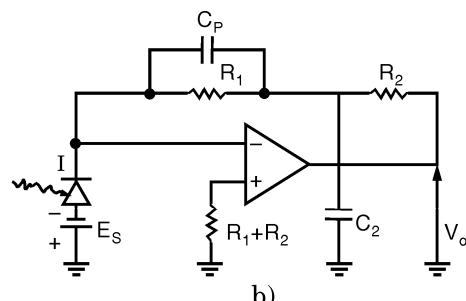
9.3.6 Mạch điện đi kèm với diod quang

Người ta chọn cách măc diod quang phụ thuộc vào công việc nghiên cứu. Cách măc điện trở quang, có những đặc tính:

- Tuyến tính
- Thời gian đáp ứng ngắn và băng thông rộng



a)



b)

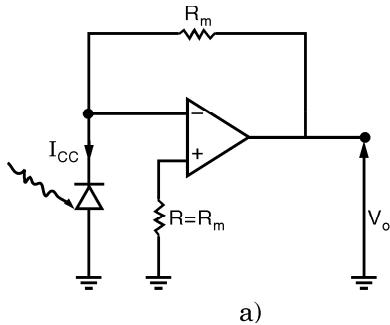
Hình 9.13: Cách mắc diod quang

$$a) \text{Cách mắc cờ bắn: } V_o = R_m \left(1 + \frac{R_2}{R_1}\right) I_r$$

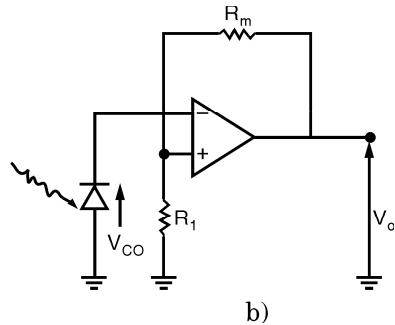
$$b) \text{Cách mắc có độ đáp ứng nhanh: } V_o = (R_1 + R_2) I_r$$

Cách mắc điện áp quang, có đặc tính:

- Hoạt động tuyến tính hoặc tỉ lệ logarit tùy theo tải.
- Thời gian đáp ứng lớn và băng thông hẹp.
- Độ nhạy nhiệt lớn.



a)



b)

Hình 9.14: Cách mắc điện áp quang

$$a) \text{Cách mắc tuyến tính. Đo dòng điện ngắn mạch } I_{cc}: V_o = R_m I_{cc}$$

$$b) \text{Cách mắc tỉ lệ logarit. Đo điện áp hở mạch } V_{co}:$$

$$V_o = \left(1 + \frac{R_2}{R_1}\right) V_{co}$$

9.4 TRANSISTOR QUANG

9.4.1 Cấu tạo và nguyên tắc hoạt động

Nó hoạt động giống như một transistor thông thường là transistor silicium loại NPN, có chất bán dẫn cực nền được chiếu sáng, và thường chỉ có cực thu và cực phát được phân cực ngoài.

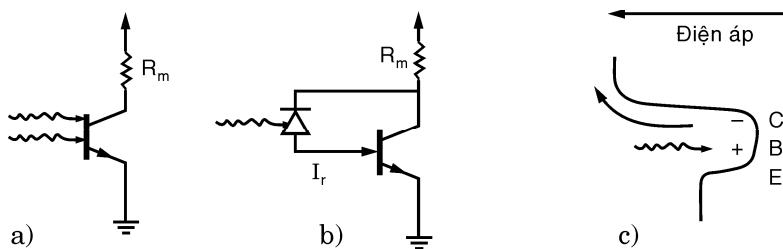
Mối nối giữa cực nền và thu được phân cực nghịch, trong khi điện áp mối nối nền và phát không thay đổi ($V_{be} \approx 0,6V - 0,7V$).

Khi vùng mối nối nền thu được chiếu sáng, nó hoạt động giống như một diod quang, được mắc như một điện trở quang có dòng điện ngược:

$$I_r = I_o + I_p$$

với: I_o - dòng điện vùng tối

$I_P = \frac{q\eta(1-R)\exp(-\alpha X)}{h.C} \lambda \Phi_o$: là dòng quang điện do nguồn quang thông Φ_o xâm nhập qua bìa dày cực nền X , có độ dài sóng λ nhỏ hơn độ dài sóng riêng λ_s . Dòng I_r đóng vai trò dòng điện cực nền và sẽ kéo theo dòng điện cực thu I_C của transistor:



Hình 9.15: Transistor quang

- a) Cách mắc dây;
- b) Mạch tương đương
- c) Tách các điện tích tự do do sự chiếu sáng cực nền

$$I_C = (\beta + 1) \cdot I_r = (\beta + 1) \cdot I_o + (\beta + 1) I_P$$

với: β - độ lợi của transistor theo cách mắc cực phát chung

$(\beta + 1) I_o = I_{Co}$: dòng điện vùng tối transistor

$(\beta + 1) I_P = I_{CP}$: dòng điện cực thu do quang thông tạo ra.

Như thế ta có thể biểu diễn một transistor quang là một tổ hợp diod quang và một transistor.

9.4.2 Dòng điện vùng tối

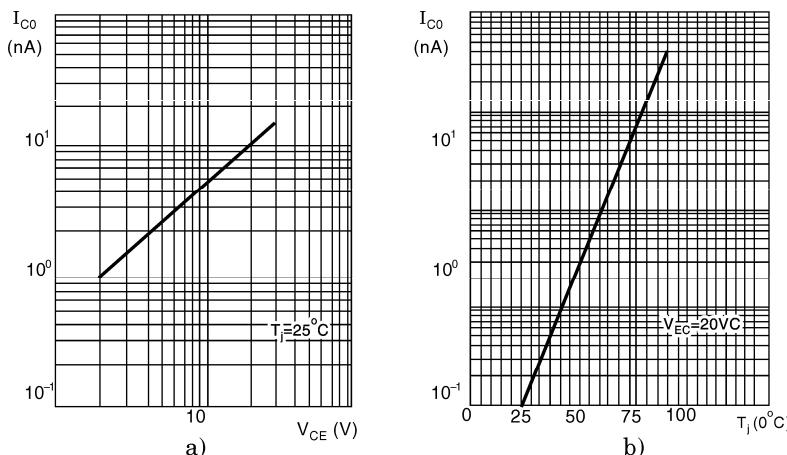
Dòng điện vùng tối I_{Co} ở 25°C vào khoảng 10^{-8} đến 10^{-9}A , nó tùy thuộc điện áp thu-phát và nhiệt độ.

9.4.3 Độ nhạy

Tiếp nhận quang thông Φ_o , độ dài sóng $\lambda < \lambda_s$ diod neden thu tạo ra dòng điện I_P , kéo theo dòng điện transistor: $I_{CP} = (\beta + 1) I_P$.

$$I_{CP} = \frac{(\beta + 1)q\eta(1 - R)\exp(-\alpha X)}{hC} \cdot \lambda \cdot \Phi_o$$

Dòng điện cực thu $I_C = f(V_{CE})$ phụ thuộc I_B được thay thế bởi quang thông Φ_o , với Φ_o cho trước, đường cong đáp ứng phổ được xác định bởi loại diod neden thu. Vật liệu cấu tạo, thường là silicium và chất dopé. Với độ dài sóng cho trước dòng điện cực thu I_C không hoàn toàn tuyến tính đối với quang thông hay chiếu độ, vì độ lợi β tùy thuộc vào dòng điện I_C và hậu quả độ nhạy $\Delta I_C / \Delta \Phi_o$ tùy thuộc vào Φ_o . Chẳng hạn đối với transistor BPW22 độ nhạy được nhân với 1,6 khi chiếu độ trong khoảng 1mW/cm^2 đến 8mW/cm^2 .



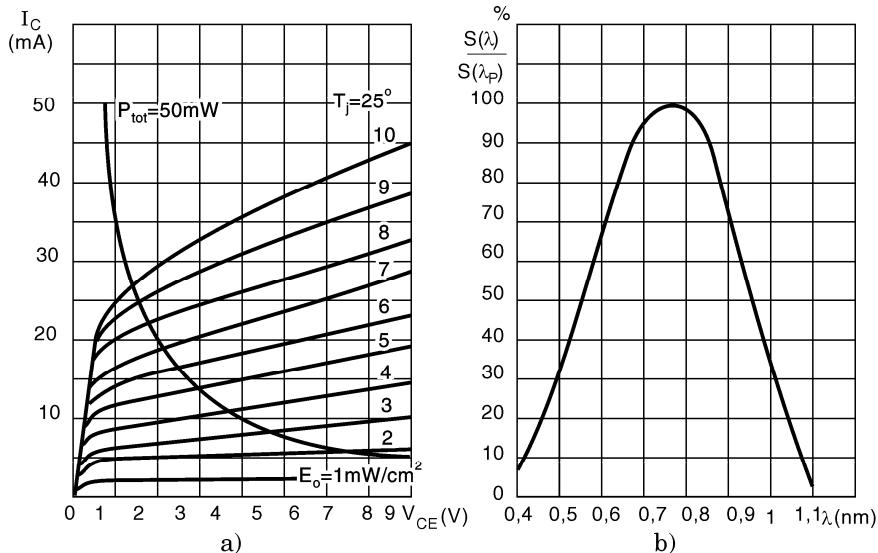
Hình 9.16: Dòng điện vùng tối của transistor quang thay đổi theo

a) Điện áp thu phát; b) Nhiệt độ môi trường (transistor quang BPW22)

Độ lớn của độ nhạy phổ phụ thuộc vào độ dài sóng.

$S(\lambda_p)$ từ 1 đến 100 A/W.

Độ nhạy tổng cộng thường được xây dựng dựa vào nguồn bức xạ của ngọn đèn có tim bằng tungstène được nung nóng vào khoảng $2850\text{ }^\circ\text{K}$. Độ nhạy tổng cộng thấp hơn độ nhạy phổ và tùy thuộc vào độ dài sóng, nó giảm theo nhiệt độ của tim đèn, và cũng như độ nhạy phổ nó tùy thuộc vào quang thông tác động.



Hình 9.17: a) Các đặc tuyến của transistor quang
b) Đường cong đáp ứng phôtô (transistor quang BPW22)

9.4.4 Thời gian đáp ứng

Các đại lượng khác nhau về thời gian đáp ứng có thể tính toán khi dựa vào sơ đồ mạch tương đương Giacoletto của transistor quang và điện trở tải R_m . Ta nhận thấy:

- Thời gian trễ t_{dm} , thời gian lên t_m , thời gian xuống t_c , cả ba sẽ giảm khi dòng điện cực thu tăng.
- t_m và t_c tăng theo điện trở tải R_m , điều này cũng đúng với t_{dm} khi R_m cỡ $k\Omega$ trở lên.

Tùy theo loại transistor quang và tùy theo điểm hoạt động, điện trở tải, các đại lượng thời gian thay đổi từ vài μs đến hàng chục μs .

9.4.5 Cách mắc transistor

Transistor quang có thể được sử dụng trong việc chuyển đổi, hoặc được sử dụng trong việc tuyển tính.

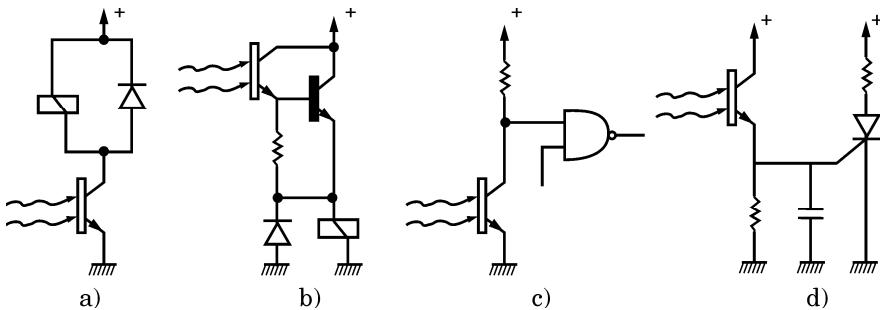
- Trong việc chuyển đổi nó, thay thế diod quang và cho phép dòng điện tương đối lớn.
- Trong việc tuyển tính, nhằm đem lại độ khuếch đại lớn nên người ta thích dùng nó hơn diod quang trong các hoạt động tuyển tính.

1- Transistor quang hoạt động chuyển đổi (H.9.18)

Thông tin trong trường hợp này có hai trạng thái: tia bức xạ hiện hữu hoặc không hiện hữu, hoặc nguồn sáng lớn hơn hay không so với mức độ định trước. Transistor ngừng dẫn hay bão hòa sẽ điều khiển trực tiếp, hoặc sau khi khuếch đại một rờ le, một cổng logic, một thyristor hoặc một triac.

Độ nhanh của sự chuyển đổi được giới hạn bằng điện trở tải của transistor quang, được cải thiện đáng kể nếu như ta thực hiện tiếp theo cách măc có tổng trở nhập thấp:

- Cách măc cực nền chung
- Biến đổi dòng điện-điện áp.



Hình 9.18: Sử dụng transistor hoạt động chuyển đổi để điều khiển

a) Rờ le; b) Một rờ le sau khi khuếch đại; c) Cổng logic; d) Thyristor

2- Transistor hoạt động tuyến tính (H.9.20)

Có hai loại áp dụng:

□ Việc đo độ sáng không đổi, ở đó transistor quang cho phép thực hiện các lux kế đơn giản.

- Tiếp nhận tín hiệu biến điệu dưới dạng: $\Phi(t) = \Phi_0 + \Phi_1(t)$

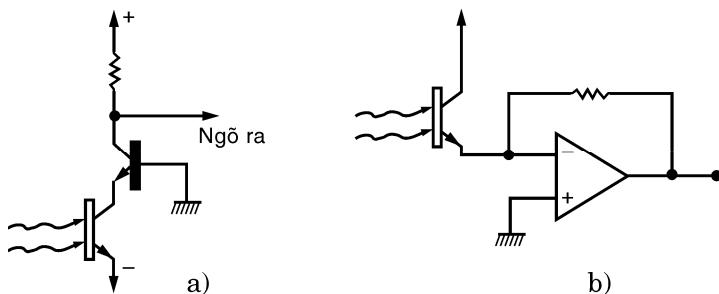
Độ biến điệu $\Phi_1(t)$ có biên độ khá bé, một mặt không làm transistor bão hòa, không làm transistor ngừng dẫn, mặt khác, để có độ nhạy xem như hằng số. Trong điều kiện này, dòng điện cực thu transistor có dạng:

$$i_c(t) = I_c(\Phi_0) + S\Phi_1(t)$$

Transistor quang với phân cực cố định cực nền, có lợi là cho phép chọn điểm hoạt động tuyến tính tối ưu.

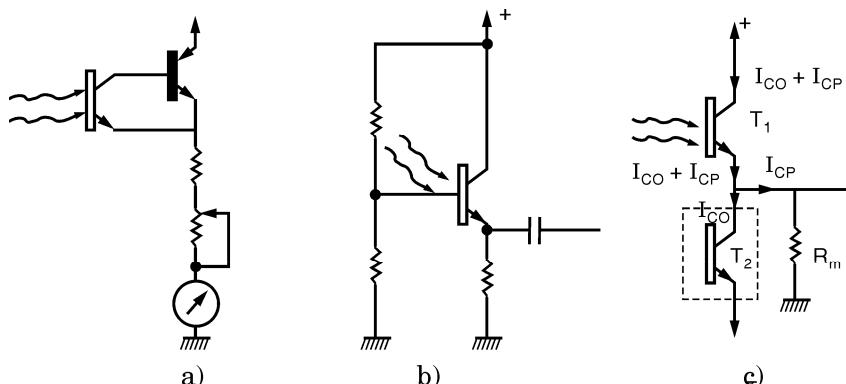
Dòng điện vùng tối transistor T_1 có thể được giới hạn qua tải bằng cách sử dụng một transistor thứ hai T_2 giống T_1 có cùng dòng điện vùng tối. T_2 không chiếu sáng nhưng cùng nhiệt độ với T_1 , dòng điện vùng tối có giá trị

chung và không chạy qua tải.



Hình 9.19: Cách măc cho phép gia tăng vận tốc chuyển đổi

a) Cách măc cực nền chung; b) Biến đổi dòng - áp



Hình 9.20: Transistor quang hoạt động tuyến tính

- a) Sơ đồ lux kế; b) Chọn điểm hoạt động nhờ phân cực cực nền
c) Giảm dòng điện vùng tối đi qua tải

9.5 CẢM BIẾN PHÁT XẠ QUANG

Hiệu ứng quang điện có thể chia làm ba loại: hiệu ứng điện trở quang (*photoconductive*), hiệu ứng điện áp quang (*photovoltaic*) và hiệu ứng phát xạ quang (*photoemissive*).

Trong cảm biến điện trở quang, điện trở của cảm biến thay đổi khi được chiếu sáng; trong cảm biến điện áp quang, cảm biến tạo ra một điện áp tỉ lệ với cường độ tia bức xạ. Trong cảm biến phát xạ quang, cảm biến khi tiếp nhận nguồn sáng sẽ tạo ra tín hiệu điện do hiệu ứng phát xạ quang: số lượng các điện tử được phát xạ từ bề mặt của âm cực quang tỉ lệ với số phô-tôn chiếu vào âm cực quang, các điện tử sơ cấp này tạo nên dòng điện âm cực và:

- Tập trung ở dương cực trong đèn quang điện chân không.
- Ion hóa các phân tử khí do sự va chạm trong đèn quang điện khí hiếm.
- Tạo nên phát xạ điện tử thứ cấp trong đèn nhân quang điện.

9.5.1 Sự phát xạ quang, vật liệu phát xạ quang

Chúng ta cần phân biệt ba quá trình trong hiệu ứng phát xạ quang:

- Sự giải phóng điện tử bên trong vật liệu khi hấp thu phô-tôn.
- Sự di chuyển đến bề mặt vật liệu của các điện tử tự do.
- Sự phát xạ điện tử ở bề mặt vật liệu.

Đối với chất bán dẫn tinh khiết, sự giải phóng điện tử bên trong vật liệu chỉ hiện hữu với năng lượng phô-tôn nhỏ hơn hay bằng chiều rộng vùng cấm E_g , do vậy điện tử không đủ năng lượng để di chuyển đến bề mặt vật liệu. Sự di chuyển của điện tử tự do có tính chất ngẫu nhiên và theo mọi hướng; một tỉ lệ rất nhỏ trong số đó đi đến được bề mặt vật liệu, số còn lại khi di chuyển những đoạn ngắn sẽ có sự đụng, va chạm với các điện tử khác hoặc với các phô-tôn, điều này làm giảm năng lượng của chúng.

Sự phát xạ điện tử ở bề mặt vật liệu chỉ có thể xảy ra khi điện tử có thể vượt qua rào cản điện áp ngăn cách giữa chất bán dẫn và bên ngoài đó chính là ái lực điện tử E_a .

Hiệu suất lượng tử \square (số điện tử trung bình phát ra ở bề mặt vật liệu khi hấp thu một phô-tôn) của vật liệu không bao giờ vượt quá 30% và thường nhỏ hơn 10%.

Hiệu suất lượng tử \square trong vùng phổ sử dụng là tiêu chí để chọn vật liệu sử dụng. Người ta thường sử dụng hai nhóm vật liệu:

- Hợp kim alcalim: $AgOCs$ nhạy với tia hồng ngoại. Cs_2Sb , $(Cs)Na_2KSb$, K_2CsSb nhạy với vùng ánh sáng thấy được và vùng độ dài sóng ngắn hơn. Cs_2Te , Rb_2Te , C_sI nhạy với tia cực tím.

- Hỗn hợp thuộc nhóm 3 và 5: Được cấu tạo từ các phần tử thuộc nhóm 3 và 5 của bảng phân loại tuân hoàn:

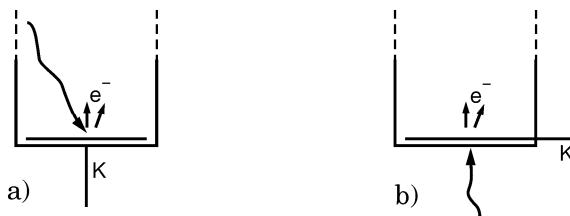
$GaAs_xSb_{1-x}$, $Ga_{1-x}In_xAs$, $I_nAs_xP_{1-x}$ sử dụng trong vùng hồng ngoại ($\lambda \approx 1\mu m$) và tùy thuộc vào thành phần hỗn hợp (x), chúng có ái lực điện tử E_a yếu: hiệu suất lượng tử có thể đạt 30%.

9.5.2. Dòng điện âm cực

Có hai kỹ thuật để thực hiện âm cực (H.9.21):

- Đặt vật liệu phát xạ quang trên một giá đỡ bằng kim loại, tất cả được đặt trong một lớp vỏ che: Các điện tử sơ cấp sẽ phát xạ khi bê mặt âm cực được chiếu sáng.

- Một lớp mỏng ($c\sim 100A^\circ$) vật liệu phát xạ quang được đặt trên bê mặt bên trong lớp vỏ che: các điện tử sơ cấp sẽ phát xạ ở bê mặt đối diện với bê mặt được chiếu sáng, kỹ thuật này thường được sử dụng nhất.



Hình 9.21: Các cách thực hiện âm cực quang

a) Sự phát xạ bởi bê mặt chiếu sáng

b) Sự phát xạ bởi bê mặt đối diện

1- Dòng điện vùng tối

Hiệu ứng nhiệt ion hóa phát xạ điện tử của catốt là nguồn gốc chính của dòng điện âm cực vùng tối I_{ko} , giá trị dòng điện tăng theo nhiệt độ được xác định bởi định luật Richardson Dushman:

$$I_{ko} = ACT^2 \exp\left[\frac{-W_s}{KT}\right]$$

với: A - diện tích của âm cực quang, (m^2)

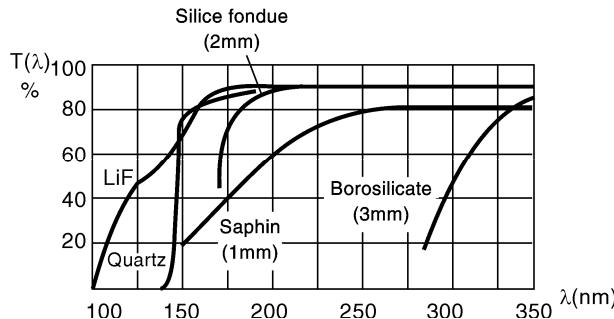
C - hằng số: $C = 1,20 \times 10^6$ (MKSA)

W_s - Sai biệt năng lượng giữa lỗ trống và mức Fermi của vật liệu phát xạ quang.

2- Độ nhạy

Đối với tia bức xạ có độ dài sóng lớn, độ nhạy được xác định bởi vật liệu phát xạ quang dùng катот và nó ấn định hiệu suất lượng tử.

Ngược lại, đối với sóng ngắn nó bị hấp thu của lớp vỏ hoặc cửa sổ của cảm biến và được đặc trưng bởi hệ số truyền $T(\lambda)$.



Hình 9.22: Hệ số truyền $T(\lambda)$ của vật liệu khác nhau qua cửa sổ cảm biến theo độ dài sóng λ

Như vậy tổ hợp vật liệu phát xạ quang và vật liệu làm vỏ xác định đáp ứng phổ và tổ hợp này được ký hiệu dưới dạng S_n .

Ký hiệu	Vật liệu phát xạ quang	Vật liệu làm vỏ
S_1	AgOC_s	Thủy tinh
S_{11}	Cs_3Sb	Thủy tinh
S_{13}	Cs_3Sb	Thạch anh
S_{20}	$\text{Na}_2\text{K}\text{Sb}(\text{C}_s)$	Thủy tinh
S_{23}	Rb_2Te	Thạch anh

Tia bức xạ có quang thông $\Phi(\lambda)$ có độ dài sóng λ chứa n_i phô-tôn:

$$n_i = \frac{\Phi(\lambda)}{h\nu} = \frac{\Phi(\lambda)\lambda}{hC}$$

n_t - số hạt phô-tôn xuyê qua cửa sổ đi đến catốt: $n_t = T(\lambda)n_i$

$\eta(\lambda)$ - hiệu suất lượng tử độ dài sóng λ

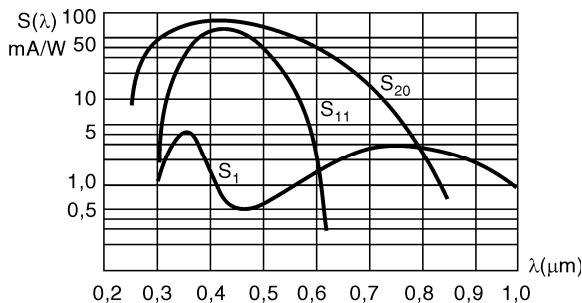
n_e - số điện tử sơ cấp phát xạ mỗi giây bởi catốt, hình thành dòng điện âm cực I_k . Ta có:

$$n_e = \eta(t)n_t; I_k = qn_e \Rightarrow I_k = \frac{q\eta(\lambda)T(\lambda)\lambda}{hC}\Phi(\lambda)$$

Rõ ràng dòng điện âm cực tỉ lệ thuận với quang thông bức xạ.

Độ nhạy phổ của dòng điện catốt bao gồm cả lớp vỏ:

$$S_K(\lambda) = \frac{\Delta I_k}{\Delta \Phi(\lambda)} = \frac{q\eta(\lambda)T(\lambda)\lambda}{hC}$$



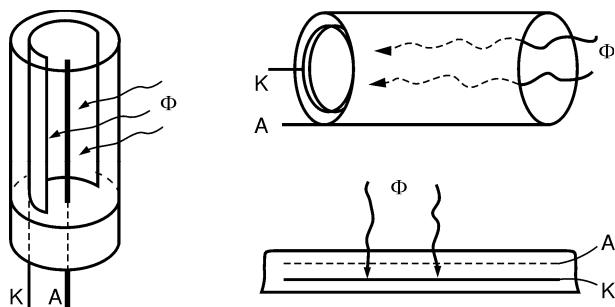
Hình 9.23: Độ nhạy của những tổ hợp vật liệu làm vỏ và catốt quang

Hình 9.23 cho thấy sự thay đổi độ nhạy phổ theo độ dài sóng λ tia bức xạ của những tổ hợp vật liệu khác nhau làm vỏ và catốt quang.

Độ nhạy phổ cực đại $S_k(\lambda_p)$ có giá trị trong khoảng 10 đến 100mA/W.

9.5.3 Đèn quang điện chân không

Gồm một catốt bằng vật liệu phát xạ quang và một dương cực, được đặt bên trong một lớp vỏ có cửa sổ trong suốt, áp suất bên trong đèn vào khoảng $10^{-6} \div 10^{-8} \text{ mmHg}$. Hình dạng và sự bố trí vị trí tương đối giữa các điện cực đảm bảo catốt nhận được quang thông bức xạ cực đại và dương cực thu được các điện tử phát xạ từ catốt.



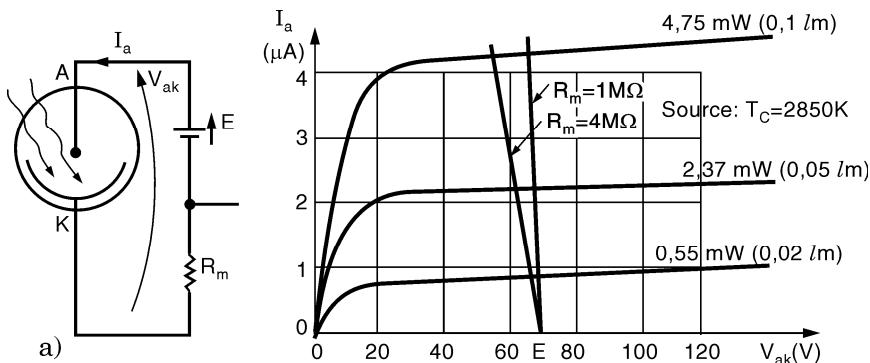
Hình 9.24: Ví dụ về cách thực hiện các đèn quang điện chân không

1- Quan hệ dòng - áp

Cách măc cơ bản của đèn quang điện như hình 9.25a. Sự thay đổi dòng điện anốt I_a theo điện áp anốt - catốt V_{ak} với độ chiếu sáng khác nhau được giới thiệu như hình 9.25b. Ta nhận thấy trên các đặc tuyến có hai vùng:

- *Vùng điện tích không gian*: tại đây dòng điện tăng theo điện áp V_{ak} , một phần các điện tử phát ra bởi catốt tạo nên điện tích không gian, đồng thời đẩy ngược các điện tử mới phát ra về hướng catốt làm giới hạn dòng điện anốt. Ảnh hưởng của điện tích không gian sẽ giảm khi gia tăng điện áp V_{ak} .

- *Vùng bão hòa*: tại đây dòng điện phụ thuộc rất ít vào điện áp V_{ak} , các điện tích phát ra bởi catốt được thu nhận bởi anốt. Dòng điện I_a trong vùng này thật sự chỉ phụ thuộc vào quang thông bức xạ. Sử dụng đặc tuyến trong vùng bão hòa, đèn quang điện được xem như một nguồn dòng có trị số chỉ phụ thuộc vào quang thông nhận được.



Hình 9.25: Đèn quang điện chân không

a) Cách măc cơ bản; b) Đặc tuyến tĩnh

2- Dòng điện vùng tối

Được hình thành từ hai nguyên nhân chính:

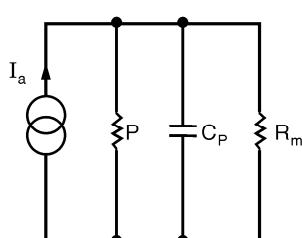
- Sự phát xạ điện tử do hiệu ứng nhiệt ion hóa
- Dòng điện rò giữa các điện cực, điều này có thể giảm thiểu bởi công nghệ chế tạo bằng cách đặt xa các đầu ra của điện cực và tránh để đèn bị ẩm ướt. Dòng điện vùng tối khoảng $10^{-8} \div 10^{-13} A$.

3- Độ nhạy

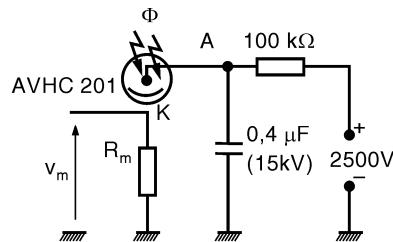
Dòng điện anốt trong vùng bão hòa thật sự bằng với dòng điện catốt và biểu thức độ nhạy phổ của đèn giống như độ nhạy phổ của dòng điện catốt, kết quả là cảm biến hoạt động tuyến tính, độ nhạy phổ cực đại có giá trị trong khoảng từ $10 \div 100 \text{ mA/W}$, hệ số nhiệt độ của độ nhạy thường rất bé.

4- Độ nhanh

Thời gian di chuyển của điện tử càng ngắn khi điện áp V_{ak} càng cao: nó có thể nhỏ hơn 10^{-9} giây, vì vậy thông thường thời gian di chuyển của điện tử không dùng để xác định tính nhanh của đáp ứng mà người ta sử dụng hằng số thời gian của mạch điện bao gồm cả cảm biến, có mạch tương đương như hình 9.26.



Hình 9.26



Hình 9.27

Sơ đồ mạch điện tương đương

Mạch đo quang thông dạng xung

Hằng số thời gian của mạch $\tau = R_m C_p$.

Thời gian lên t_m , thời gian xuống t_c : $t_m = t_c = 2,2 R_m C_p$.

Ta cần lưu ý:

- Các đèn quang điện bố trí để đo quang thông bé sử dụng điện trở R_m có giá trị cao ($1 \div 100 \text{ M}\Omega$) nhằm thu được ở hai đầu điện trở một điện áp thích hợp.

- Các đèn quang điện bố trí để đo các xung quang thông lớn tạo ra dòng điện có trị đỉnh lớn và như vậy điện trở R_m không cần lớn, thí dụ $R_m = 50\Omega$ chẳng hạn.

Ví dụ: Đèn 150TV (hãng RTC): Dòng đỉnh cực đại $25 \mu\text{A}$; $R_m = 1 \text{ M}\Omega$; $C_p = 20 \text{ pF}$; $t_m = t_c = 44 \mu\text{s}$.

Đèn AVHC 201 (hãng RTC) đo các xung quang thông lớn:

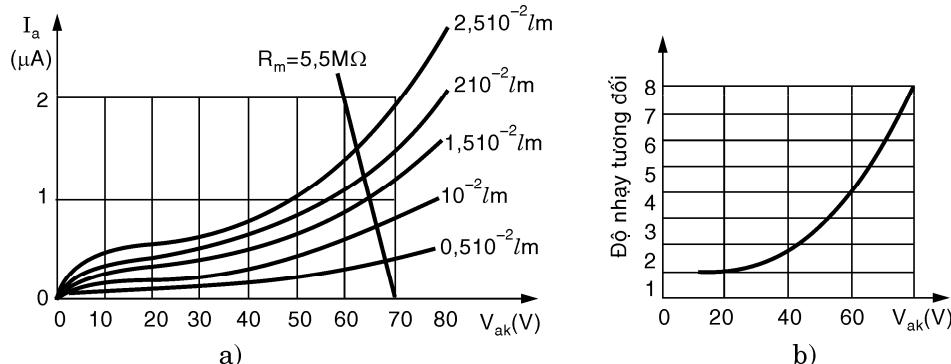
Dòng đỉnh cực đại: 30A; $R_m = 50\Omega$; $C_p = 30pF$; $t_m = t_c = 3,3ns$.

9.5.4 Đèn quang điện khí hiếm

Được cấu tạo giống như đèn chân không nhưng bên trong đèn chứa khí hiếm, thông thường là khí argon ở áp suất thấp từ 10^{-1} đến 10^{-2} mmHg. Khi điện áp dương cực đủ lớn, các điện tử bức xạ bởi catốt sẽ di chuyển và va chạm vào các nguyên tử khí hiếm tạo nên sự ion hóa, kết quả dòng điện dương cực sẽ lớn hơn từ 5 đến 10 lần dòng điện catốt.

1- Quan hệ dòng - áp

Khi điện áp nhỏ hơn khoảng 20V, các đường đặc tuyến dòng áp giống như trường hợp đèn chân không, lúc này các điện tử bức xạ từ catốt di chuyển với vận tốc tương đối chậm, khi va chạm với khí hiếm, năng lượng không đủ để ion hóa các nguyên tử khí hiếm, nhưng khi điện áp V_{ak} gia tăng, sự ion hóa khí hiếm sẽ bắt đầu xảy ra và tăng nhanh khi V_{ak} tăng, điện áp V_{ak} thường giới hạn ở mức 90 V để tránh phá hủy catốt quang.



Hình 9.28: Đèn quang điện khí hiếm

a) Đặc tuyến tĩnh; b) Ánh hưởng điện áp V_{ak} đối với độ nhạy

2- Tính chất của đèn quang điện khí hiếm

Độ nhạy của đèn lớn hơn từ 5 đến 10 lần so với đèn chân không và tăng theo quang thông, điều này dẫn đến đáp ứng không tuyến tính.

Mặt khác, độ nhạy giảm theo thời gian vận hành do sự di chuyển của các ion dương đến catốt làm cho catốt phát xạ điện tử giảm đi.

Tính nhanh của đèn bị giới hạn do sự gia tăng thời gian di chuyển của điện tử vì điện tử bị va chạm và độ linh động bé của ion dương.

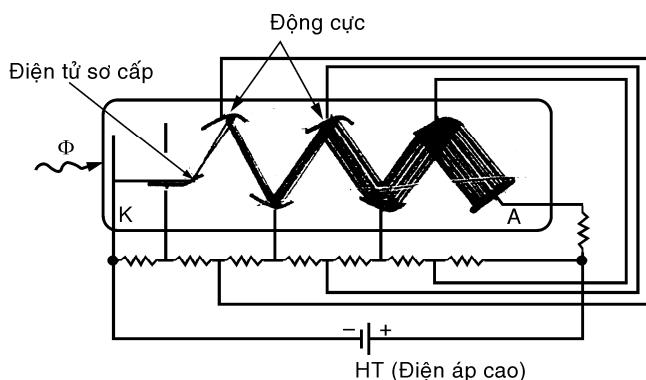
Đáp ứng không tuyến tính, độ ổn định không cao, đó là những lý do người ta không sử dụng cảm biến này và thay nó bằng transistor quang.

9.5.5 Đèn nhân quang điện (*photomultiplier tube*)

1- Nguyên tắc cấu tạo

Khi bề mặt của chất rắn chịu sự va đập của các điện tử có năng lượng đủ lớn, nó sẽ phát xạ các điện tử: đó là sự phát xạ thứ cấp. Khi số điện tử phát ra lớn hơn số điện tử va đập, có thể xem như một sự khuếch đại tín hiệu sơ cấp và được ứng dụng trong đèn nhân quang điện.

Tín hiệu sơ cấp được hình thành từ các điện tử phát xạ dưới tác động của tia bức xạ hấp thu bởi catốt quang được đặt trong bầu chân không. Các điện tử sẽ hội tụ tại điện cực thứ nhất của chuỗi điện cực gọi là động cực (*dynode*), các động cực được phủ bởi vật liệu mà hiệu ứng phát xạ điện tử thứ cấp rất lớn. Điện áp cung cấp cho các động cực được cung cấp bởi một mạch phân áp có điện áp tăng dần theo các động cực làm sao cho các điện tử phát xạ thứ cấp ở động cực thứ k sẽ được hấp thu bởi động cực thứ $(k+1)$ và mỗi điện tử sẽ tạo ra nhiều điện tử thứ cấp.



Hình 9.29: Sơ đồ nguyên tắc đèn nhân quang điện

Nếu mỗi điện tử khi đập vào động cực sẽ tạo ra trung bình \bar{M} điện tử thứ cấp, với n động cực mà hiệu điện áp giữa hai điện cực kề nhau là bằng nhau thì dẫn đến số điện tử phát xạ thứ cấp bởi n động cực gây ra bởi một điện tử là: $M = \bar{M}^n$.

Thật ra, tất cả các điện tử phát xạ bởi catốt sẽ không đi đến động cực thứ nhất một cách đầy đủ: nếu gọi η_t là giá trị hiệu dụng di chuyển, biểu thức độ lợi M được viết lại:

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

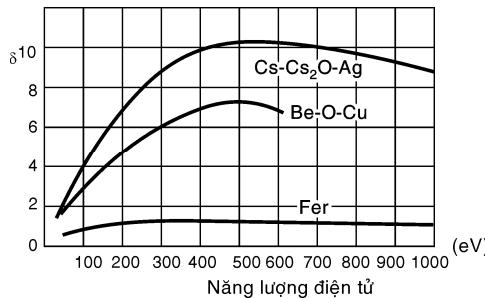
với: n - số động cực, thường từ $5 \div 15$.

δ - hệ số phát xạ thứ cấp, có trị giá từ $5 \div 10$.

η_c, η_t - giá trị hiệu dụng tập hợp và di chuyển thường lớn hơn 90%.

Độ lợi M của đèn nhân quang điện từ $10^6 \div 10^8$.

Độ lợi M phụ thuộc nhiều vào sự phát xạ điện tử thứ cấp, đó là lí do vì sao trong đèn nhân quang điện người ta chọn vật liệu có phát xạ thứ cấp lớn như ta đã biết: $C_{S_3}Sb$, $K_2C_sS_b$, Na_2KC_sSb , $GaP(C_s)$, $AgOMg$, $BeOCu(C_s)$.

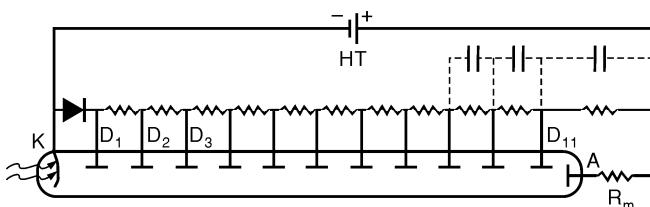


Hình 9.30: Hệ số phát xạ thứ cấp δ
theo năng lượng điện tử sơ cấp

2- Cách măc cơ bản

Việc thực hiện mạch đo sử dụng đèn nhân quang điện cần thiết:

- Xác định mạch điện cung cấp cho các động cực (H.9.31).
- Xác định điện trở tải R_m .

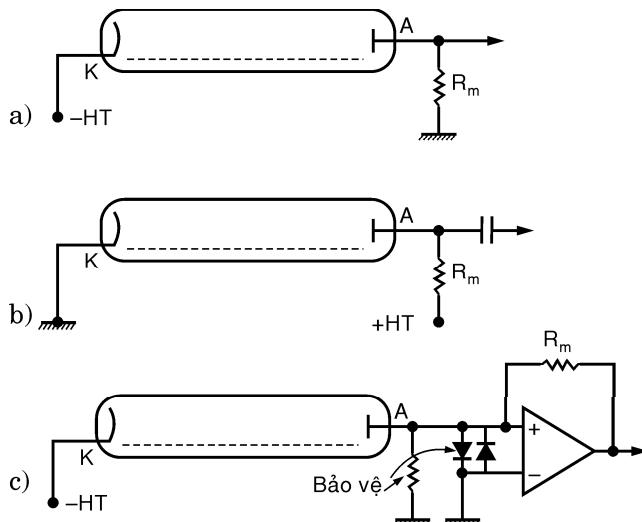


Hình 9.31: Mạch điện cung cấp cho các
động cực đèn nhân quang điện

Mạch điện cung cấp cho các động cực: dùng để cung cấp cho các động cực các điện áp thích hợp, cấu tạo bởi một mạch chiết áp được cung cấp bởi điện áp cao V_{HT} , điện áp sai biệt giữa các điện cực tùy thuộc vào loại đèn và tùy thuộc vào độ lợi, nó có thể thay đổi từ vài chục đến vài trăm vôn. Tuy nhiên, điện áp V_{kd_1} giữa catốt và động cực thứ nhất phải được ấn định chính xác bởi ảnh hưởng của nó đến giá trị hiệu dụng di chuyển của điện tử phát xạ catốt cũng như tỉ lệ giữa dòng điện và quang thông bức xạ, chính vì vậy điện áp này cần ổn định nhờ một diod Zener. Dòng điện I trong mạch chiết áp thường phải lớn hơn nhiều so với dòng điện anốt trung bình \bar{I}_a nhằm để đảm bảo điện áp cung cấp cho các động cực cũng như độ lợi của đèn không bị ảnh hưởng bởi dòng điện mạch vòng của các động cực tạo ra bởi sự phát xạ thứ cấp.

Người ta thường chọn $I > 100 \bar{I}_a$, I có trị giá trong khoảng $0,1 \div 1mA$.

Điểm chung (mass) của mạch đó có thể đặt cạnh anốt hoặc catốt. Trong trường hợp đặt cạnh anốt, tín hiệu điện lấy từ điện trở tải có thể cung cấp trực tiếp cho mạch đo phía sau, cách măc này thích hợp để đo nguồn sáng có sự thay đổi rất chậm.



Hình 9.32: Các loại kết nối điện trở tải khác nhau

a) Kết nối trực tiếp; b) Kết nối tụ điện; c) Biến đổi dòng - áp.

Trong trường hợp điểm mass đặt gần catốt, điện trở tải được ngăn cách với mạch đo phía sau bởi một tụ điện, cách măc này có lợi trong trường hợp quang thông thay đổi nhanh, người ta nhận thấy việc đặt điểm mass gần catốt sẽ làm giảm những dao động dòng điện vùng tối.

Điện áp cao (HT) thường có trị số trong khoảng từ 700V đến 3000V, ấn định độ lợi M và vì vậy cần ổn định, ta có:

$$\frac{dM}{M} = n \frac{dV_{HT}}{V_{HT}}$$

n là số lượng động cực, với $n = 10$ để độ lợi M có độ ổn định 1%, điện áp cao V_{HT} cần có độ ổn định là 0,1%.

3- Dòng điện anốt vùng tối

Dòng điện anốt vùng tối I_{ao} tương ứng với trường hợp không có quang thông bức xạ, nó có nguồn gốc:

- Sự phát xạ điện tử do hiệu ứng nhiệt ion hóa catốt tạo nên dòng điện catốt vùng tối I_{ko}

- Các dòng điện rò xuất hiện giữa các điện cực, có thể giảm thiểu các dòng điện rò xuống mức độ không đáng kể bằng cách tránh để đèn bị ẩm ướt. Trong điều kiện như vậy ta có: $I_{ao} = MI_{ko}$

Dòng điện vùng tối I_{ao} phụ thuộc vào:

- Giống như độ lợi M , phụ thuộc vào điện áp cao HT và điện áp giữa các động cực.

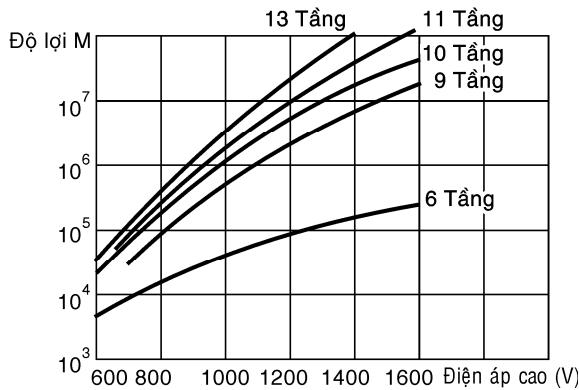
- Giống như dòng điện I_{ko} , phụ thuộc vào nhiệt độ catốt, với việc làm lạnh ở -20°C thông thường cho phép giảm dòng điện I_{ko} từ $10 \div 100$ lần so với nhiệt độ môi trường.

4- Độ nhạy

Ta có: $I_a = MI_k$

Độ nhạy M tùy thuộc vật liệu phủ các động cực, sự bố trí và số lượng các động cực, điện áp cao V_{HT} .

$$I_k = \frac{q\eta(\lambda)T(\lambda)\lambda}{hc} \Phi(\lambda) \Rightarrow I_a = M(V_{HT}) \frac{q\eta(\lambda)T(\lambda)\lambda}{hc} \Phi(\lambda)$$



**Hình 9.33: Độ lợi M theo điện áp cao
và theo số động cực**

Trong đo lường dòng I_a không vượt quá một giá trị cực đại định trước độ lợi M độc lập đối với I_a và đặc tính của đèn nhân quang điện thì tuyến tính, độ nhạy phổ anốt $S_a(\lambda)$ được tính:

$$S_a(\lambda) = \frac{\Delta I_a}{\Delta \Phi(\lambda)} = M(V_{HT}) \frac{q\eta(\lambda)T(\lambda)\lambda}{hc}$$

$$S_a(\lambda) = M(V_{HT}) S_k(\lambda)$$

với $S_k(\lambda)$ là độ nhạy phổ catốt.

Thông thường các đại lượng trên có trị số như sau:

M : từ $10^5 \div 10^8$

$S_k(\lambda, p)$: từ $10 \div 100 \text{ mA/W}$

$S_a(\lambda, p)$: từ $10^3 \div 10^7 \text{ A/W}$

Đèn nhân quang điện có độ nhạy lớn nên được dùng trong việc đo nguồn sáng yếu.

Sự thay đổi theo nhiệt của độ nhạy về độ lớn và về dấu tùy thuộc vào vật liệu làm catốt và độ dài sóng vào khoảng $\pm 0,1\% \div 1\%/\text{ }^\circ\text{C}$. Để đo đại lượng quang một cách chính xác, đèn nhân quang điện được bố trí làm thế nào để có được nhiệt độ ổn định.

5- Thời gian đáp ứng

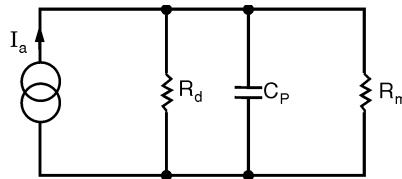
Tính nhanh của đèn nhân quang điện được xác định bởi thời gian di chuyển của các điện tử giữa catốt, các động cực, anốt. Đối với cấu trúc các động cực cho trước, thời gian di chuyển trung bình giữa catốt và anốt tùy thuộc

vào giá trị điện áp V_{HT} :

$$T_{tr} = \frac{hàng số}{\sqrt{V_{HT}}}$$

với T_{tr} thường có trị số từ $10 \div 100\text{ns}$

Sơ đồ mạch điện tương đương của đèn nhân quang điện và điện trở tải R_m như hình 9.34.



Hình 9.34: Sơ đồ tương đương của đèn nhân quang điện và điện trở tải R_m

với: I_a - dòng điện anốt

R_d - điện trở nội của đèn nhân quang điện, $R_d > 10^{12}\Omega$

C_p - điện dung ký sinh giữa anốt và mass.

Trong trường hợp $R_m \ll R_d$, hằng số thời gian của mạch điện $\tau = R_m C_p$, ta có:

Thời gian lên t'_m và thời gian xuống t'_c : $t'_m = t'_c = 2,2 R_m C_p$

Với $R_m = 50\Omega$, $C_p = 10\text{ pF} \Rightarrow t'_m = t'_c = 0,5\text{ ns}$.

Với số liệu trên cho thấy việc sử dụng điện trở tải R_m tương đối nhỏ là điều có thể được do độ nhạy cao của đèn nhân quang điện, điều này cho phép làm giảm hằng số thời gian của mạch điện.

Chương 10

DAO ĐỘNG KÝ, TIA ÂM CỤC VÀ MÁY GHI X-Y

10.1 ỐNG PHÓNG ĐIỆN TỬ (CRT)

10.1.1 Các bộ phận trong CRT (*cathode ray tube*)

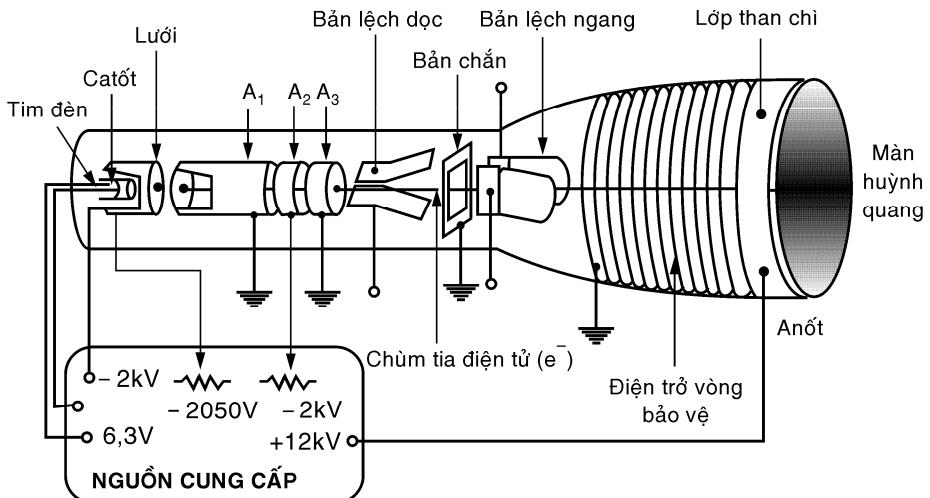
Tim đèn F: Dùng để đốt nóng *catốt* của CRT, điện thế đốt tim đèn là 6,3 VAC.

Catốt C: Ở bề mặt có phủ một lớp oxit kim loại khi tiếp thu nhiệt năng sẽ bức xạ điện tử (hiện tượng nhiệt phát xạ).

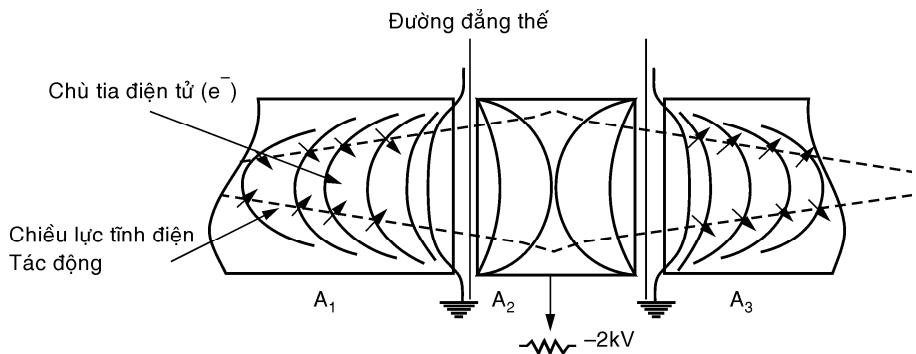
Lưới điều khiển: Có dạng cái ly bằng nikel, có một lỗ để cho chùm điện tử qua, lưới điều khiển này bao quanh *catốt*. Điện thế phân cực giữa *catốt* và *lưới* sẽ tạo ra điện trường điều khiển số điện tử được phép ra khỏi lưới. Khi V_{GK} (điện thế giữa lưới và catốt) càng âm thì số điện tử thoát ra khỏi lưới càng ít, nếu V_{GK} đạt đến điện thế ngưng dẫn thì chùm tia điện tử không thoát ra được khỏi lưới.

Bản cực gia tốc A₁ (H.10.1) có nhiệm vụ làm tăng tốc cho chùm tia điện tử, bản cực này có dạng hình trụ, một đầu hở hướng chùm tia điện tử đi vào, một đầu kín chỉ chứa một lỗ nhỏ tại tâm cho chùm tia điện tử tập trung lại và đi qua.

A₂ A₃: Hai bản cực này phối hợp với bản cực A₁ tạo thành hệ thống thấu kính điện tử (H.10.2). Do sự phân cực điện áp khác nhau giữa A₁, A₂ và A₂, A₃ chúng ta có lực tĩnh điện tác động lên chùm tia điện tử, lực tác động này phụ thuộc vào các đường đẳng thế. Các sự phân cực điện áp này thay đổi thì các đường đẳng thế thay đổi sẽ tạo ra sự thay đổi độ hội tụ của chùm tia điện tử.



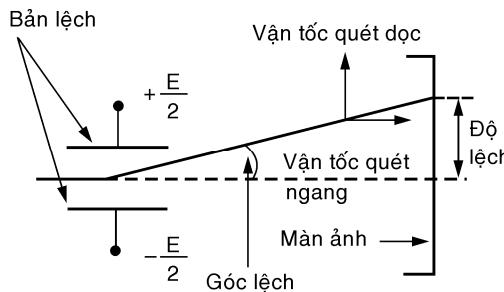
Hình 10.1: Ống phóng tia điện tử CRT



Hình 10.2: Hệ thống thấu kính hội tụ chùm tia điện tử dùng tĩnh điện

Bản lêch dọc và bản lêch ngang: Khi chùm tia điện tử đi qua bản lêch dọc hoặc lêch ngang, thì điện trường giữa hai bản cực này sẽ lái chùm tia điện tử lệch theo chiều dọc và chiều ngang bằng lực tĩnh điện (điều này khác với sự lệch chùm tia điện tử của đèn hình trong ti vi bằng lực điện từ, nghĩa là có cuộn dây lệch thay cho bản cực lệch). Độ lệch của chùm tia điện tử theo chiều dọc hoặc ngang phụ thuộc vào điện áp giữa hai bản cực.

Ví dụ 10.1: Bản cực lêch dọc có hai đầu, một đầu điện áp ($+E/2$) một đầu điện áp ($-E/2$) (H.10.3), thì khi đó điện áp giữa hai bản cực là E về phía trên, do đó chùm tia điện tử bị kéo lệch về phía trên.



Hình 10.3: Sự kéo lềch chùm tia điện tử

Còn nếu điện áp $(-E/2)$ ở bản lềch trên và $(+E/2)$ ở bản lềch dưới thì chùm tia điện tử bị kéo về phía dưới.

Độ lềch tia được xác định:

$$d = VL / 2DV_{A1}$$

trong đó: V - điện áp giữa hai bản cực

L - chiều dài của bản cực

l - khoảng cách từ bản cực đến màn ảnh huỳnh quang

D - khoảng cách giữa hai bản cực

V_{A1} - điện áp đặt vào bản cực so với mass.

Thông thường độ lềch được xác định trên màn ảnh đơn vị (1V/cm). Do đó độ nhạy S được xác định:

$$S(\text{vo}â/cm) = \frac{V(\text{vo}â)}{d(\text{cm})} = \frac{2DV_{A1}}{IL}$$

Ví dụ 10.2: $D = 1\text{cm}$; $l = 2\text{cm}$, $L = 15\text{cm}$ và điện áp giữa A_1 và catốt bằng 50V . Do đó độ nhạy của độ lềch:

$$S(\text{V/cm}) = \frac{2 \times 1\text{cm} \times 50\text{V}}{2\text{cm} \times 15\text{cm}} = \frac{100}{30} (\text{V/cm})$$

Giữa hai bản cực lềch dọc và lềch ngang của dao động ký có một bản chấn nối mass để ngăn cách ảnh hưởng điện trường của hai bản lềch dọc và lềch ngang lẫn nhau.

Màn huỳnh quang: mặt trong của màn ảnh ống CRT được phủ một lớp phát quang, tùy theo vật liệu của lớp phát quang này mà tia sáng phát ra khi chùm tia điện tử đập vào màn ảnh huỳnh quang sẽ có màu khác nhau:

Chất phát quang (Zn_2SiO_4 và Mn): cho màu xanh lá

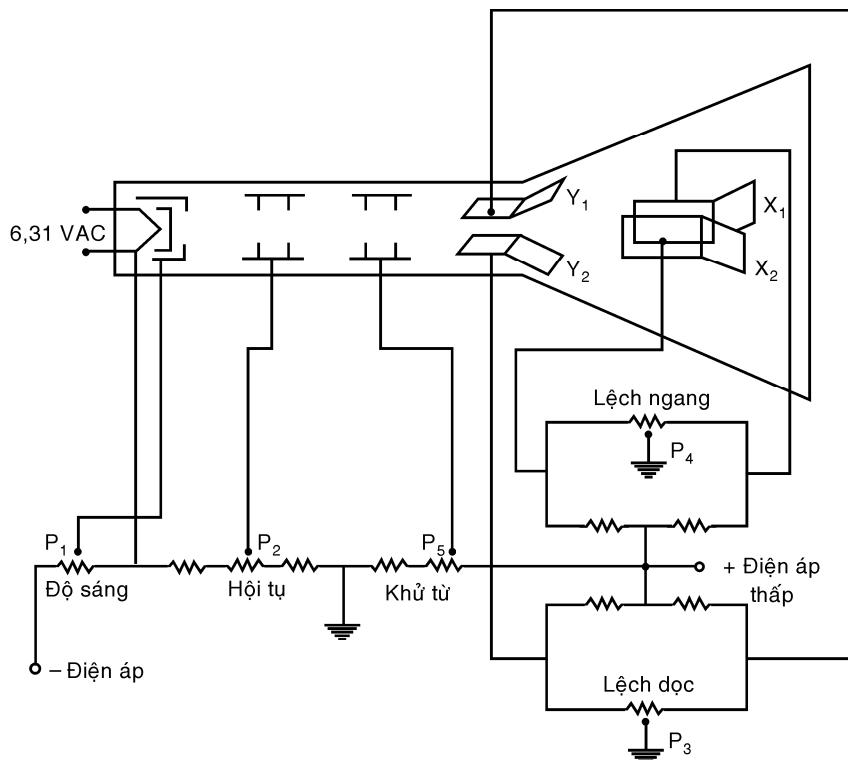
Chất phát quang muối sulfuric cadmium: cho màu vàng.

□ Lớp than chì xung quanh ống cạnh màn ảnh thu nhận các điện tử phát xạ thứ cấp (các điện tử đập vào màn ảnh dội trở lại). Do đó điện thế âm không tích tụ lại trên màn ảnh.

□ Điện áp phân cực cho anốt có trị số rất lớn vào khoảng kV (10^3 V) nó rất mạnh (tăng tốc) cho chùm tia điện tử đập mạnh vào màn huỳnh quang.

□ Các vòng điện trở hình xoáy ốc bên ngoài được nối *mass sē* làm cho các điện tích tụ, do điện trường lớn giữa catốt và anốt bị trung hòa điện tích.

10.1.2 Sự phân cực cho các bộ phận CRT



Hình 10.4: Mạch phân cực của ống phóng tia âm cực

□ Điện thế phân cực cho lưỡi, ví dụ: -2 kV (V_g), khi thay đổi biến trở P_1 điện thế V_{GK} thay đổi $V_K = -1950$ V. Như vậy $V_{GK} < 0$ ảnh hưởng đến sự phóng điện tử ra khỏi lưỡi. Vậy P_1 điều chỉnh độ sáng cho chùm tia điện tử.

☐ Biến trở P_2 thay đổi điện trường cho các bản cực hội tụ A_1, A_2, A_3 như đã đề cập ở trên, phần hội tụ chùm tia điện tử.

Biến trở P_3 dùng để thay đổi điện thế giữa hai bản cực lệch dọc. Ví dụ con chạy của biến trở P_3 dịch chuyển về phía trái thì điện áp Y_1 tăng so với điện áp Y_2 , tia sáng (chùm tia điện tử) bị kéo lệch về phía trên (phía Y_1).

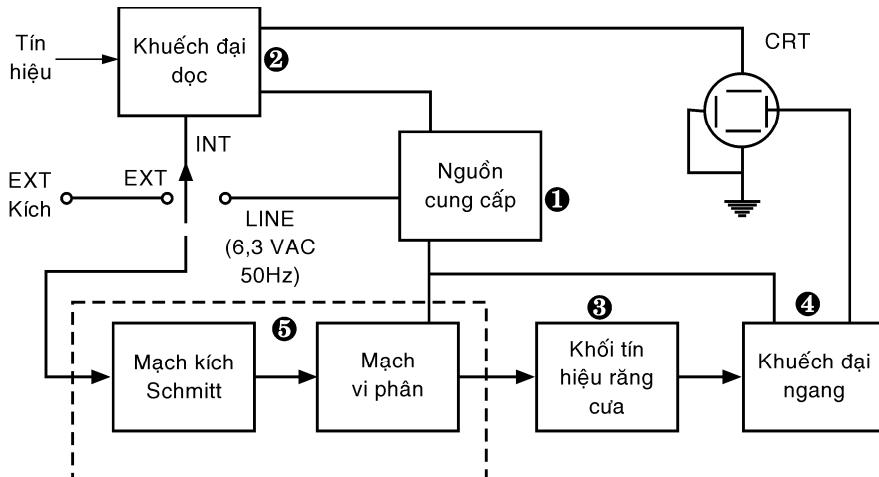
Còn nếu con chạy lệch về phía phải, điện thế Y_1 giảm dần so với Y_2 , chùm tia điện tử kéo lệch về phía dưới (Y_2). Khi con chạy ở giữa biến trở P_3 hiệu điện áp giữa Y_1, Y_2 bằng không, chùm tia điện tử không bị kéo lệch về phía nào.

☐ Biến trở P_4 dùng để thay đổi chùm tia điện tử theo chiều ngang (lý luận như phần điều khiển tia sáng quét dọc)

☐ Biến trở P_4 : có nhiệm vụ thay đổi điện áp bản cực phụ để điều chỉnh độ lệch của chùm tia điện tử do từ trường nhiễu tạo ra.

10.2 CÁC KHỐI CHỨC NĂNG TRONG DAO ĐỘNG KÝ

10.2.1 Tổng quát (H.10.5)



Hình 10.5: Các khối chức năng trong dao động ký

☐ Nguồn cung cấp ① tạo ra điện áp một chiều anot (vào khoảng vài kV) cho lưỡi, catốt, cực gia tốc và tất cả điện thế DC cho các mạch điện trong dao động ký.

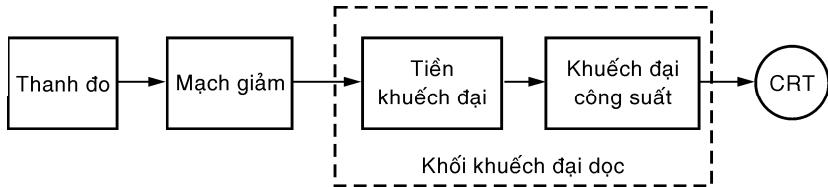
☐ Khối khuếch đại tín hiệu điều khiển chùm tia điện tử quét theo chiều dọc ②.

☐ Khối tạo tín hiệu răng cưa ③ làm chuẩn thời gian cho trục X của màn ảnh dao động ký

☐ Khối khuếch đại tín hiệu điều khiển chùm tia điện tử quét theo chiều ngang ④.

☐ Khối tạo tín hiệu xung kích ⑤ cho sự *đồng bộ hóa*, điều khiển chùm tia điện tử quét dọc và ngang để cho hình ảnh hiển thị trên màn ảnh đứng yên (nghĩa là phải có sự phối hợp đồng bộ cho sự điều khiển quét dọc và quét ngang của chùm tia điện tử)

10.2.2 Khối khuếch đại quét dọc (H.10.6)



Hình 10.6: Mạch khối khuếch đại quét dọc

Tín hiệu vào thanh đo (*probe*) được đưa qua mạch phân tần đo (mạch giảm - attenuator network) để tín hiệu đưa vào mạch tiền khuếch đại preamplifier) đây là mạch khuếch đại điện áp như phần vôn-kế điện tử.

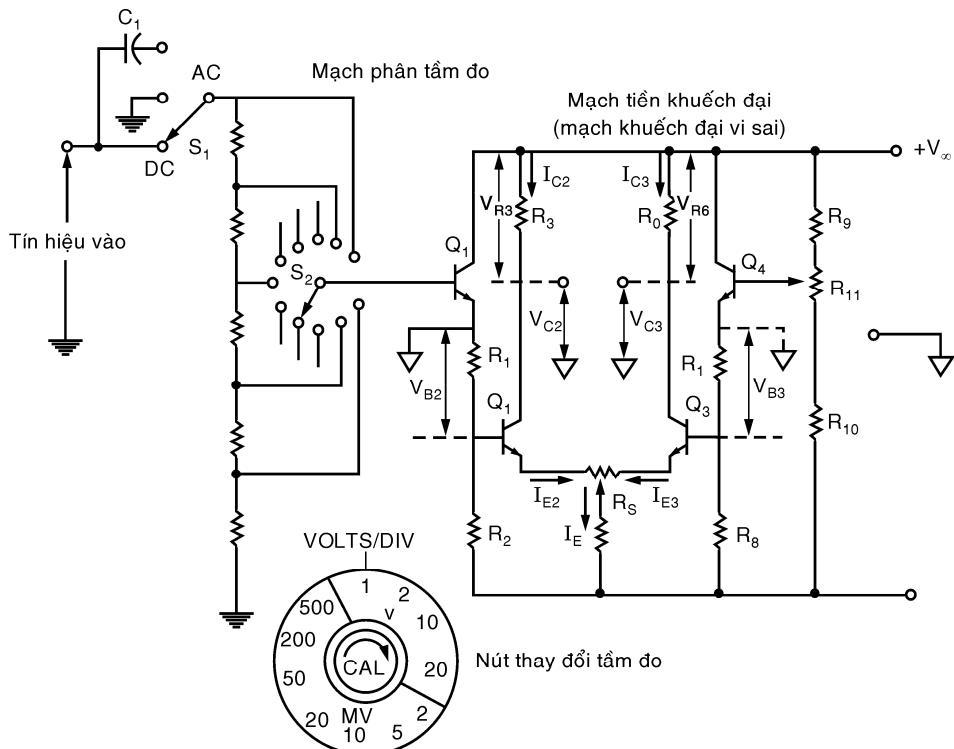
Ngõ vào của mạch phân tần đo có khóa S_1 cho hai cách ghép:

☐ Ghép trực tiếp DC (*direct coupling*), tín hiệu DC và AC đều được đưa vào.

☐ Ghép gián tiếp AC (*alternative coupling*) chỉ cho tín hiệu DC vào. Còn ở vị trí O khóa S_1 nối *mass* không có tín hiệu vào.

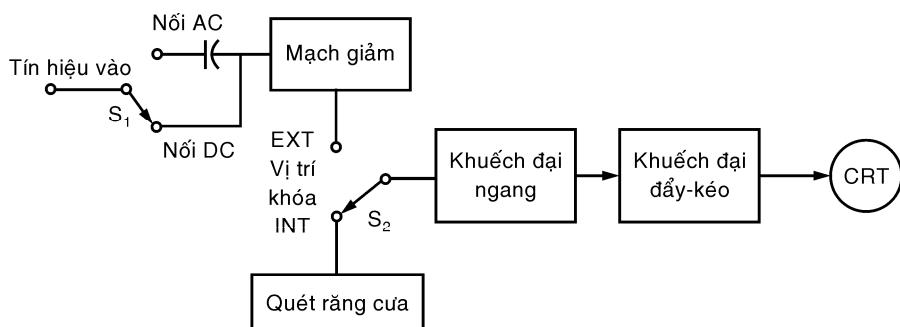
Tùy theo vị trí của nút thay đổi tần đo (theo đơn vị Volt/Div), mạch giảm có khóa S_2 ở vị trí tương ứng.

Sau đó tín hiệu đưa vào mạch khuếch đại vi sai (Q_2, Q_3) có mạch khuếch đại “*theo điện áp*” (mạch khuếch đại *đệm*) Q_1, Q_4 . Cuối cùng tín hiệu ở C_2, C_3 ($V_{C2} - V_{C3}$) được đưa vào mạch khuếch đại công suất (main frame amplifier). Điện áp ở hai đầu ra của mạch khuếch đại công suất đưa vào hai bản cực lệch dọc (kết hợp với điện áp DC có sẵn của bản cực lệch dọc).



Hình 10.7: Mạch phân tần đo và mạch khuếch đại điện áp

10.2.3 Khối khuếch đại quét ngang (H.10.8)



Hình 10.8: Mạch khối khuếch đại quét ngang

Khối khuếch đại quét ngang giống như khối khuếch đại quét dọc. Ngoài ra tín hiệu vào có hai cách phụ thuộc vào vị trí của khóa S_2 . Nếu khóa S_2 ở vị trí EXT, tín hiệu quét ngang được đưa từ ngoài vào. Nếu S_2 ở vị trí INT thì tín hiệu quét dạng răng cưa từ mạch tạo tín hiệu quét răng cưa (sweep generator) được đưa vào.

10.3 TRÌNH BÀY TÍN HIỆU TRÊN MÀN ẢNH CỦA DAO ĐỘNG KÝ

10.3.1 Sự phối hợp của tín hiệu $y = f(t)$ và $x = Kt$

Để trình bày tín hiệu cần quan sát trên màn ảnh tín hiệu quan sát được đưa vào ngõ quét dọc (*vertical input*) còn tín hiệu sóng răng cưa ở mạch tạo tín hiệu quét đưa vào ngõ quét ngang (*horizontal input*).

Tín hiệu dạng răng cưa này còn được gọi là tín hiệu chuẩn thời gian (*time base*). Như vậy cạnh lên của tín hiệu quét ngang là đường thẳng tỉ lệ theo thời gian t : $X = Kt$

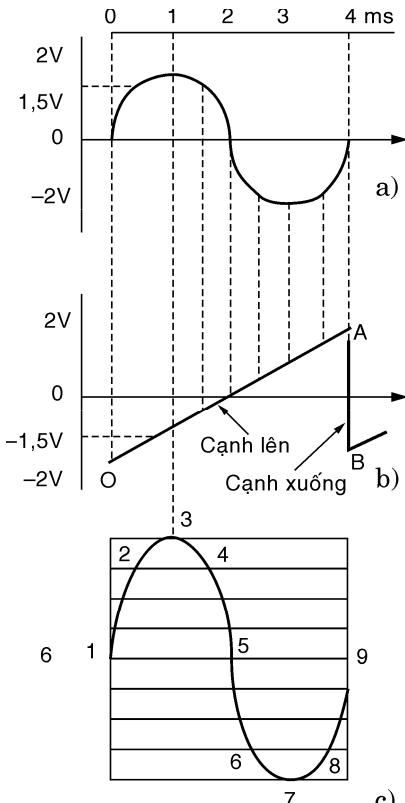
Hệ số K có thể thay đổi được khi thay đổi tần số của tín hiệu quét dạng răng cưa. Cho nên khi tín hiệu vào, giả sử là tín hiệu sin, có biểu thức:

$$y = A \sin \omega t$$

Khi đó tín hiệu được biểu diễn trên màn ảnh:

$$Y = A \sin(\omega x/K)$$

Như vậy sự phối hợp giữa hai tín hiệu quét dọc và quét ngang của hình 10.9a,b sẽ cho hình 10.9c biểu diễn hình ảnh của tín hiệu trên màn ảnh.



a) *Nhàu vaøo dao ñoäng doïc*

b) *Nhàu vaøo dao ñoäng*

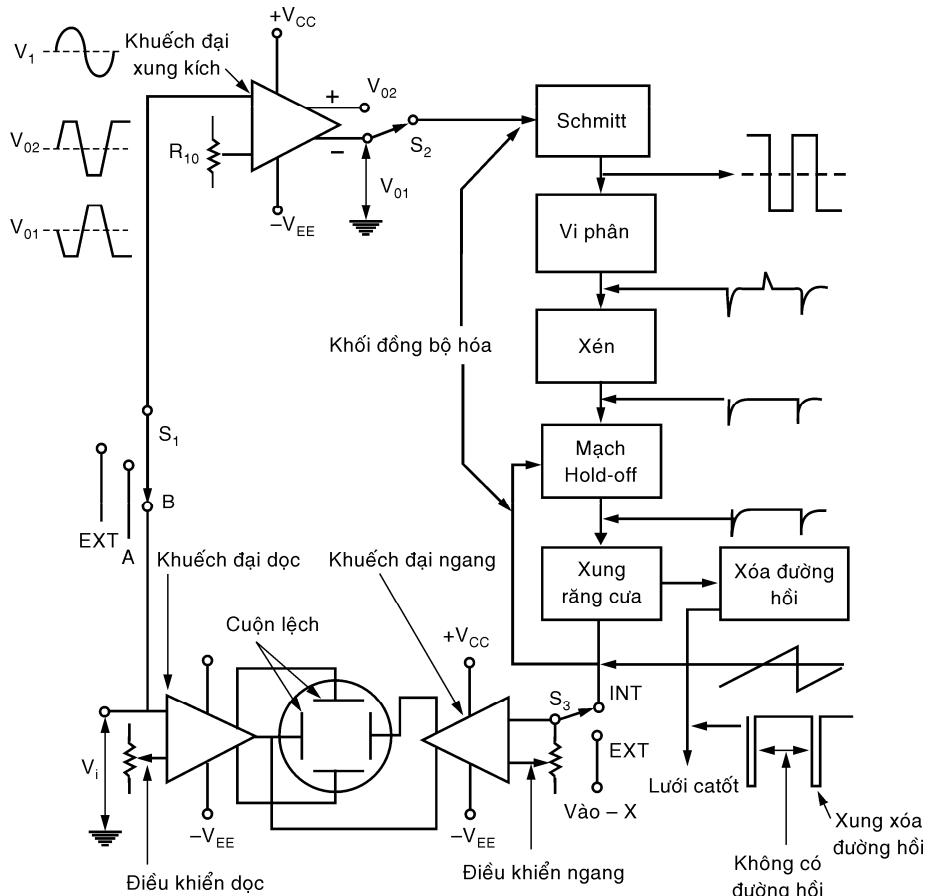
10.3.2 Sự đồng bộ hóa giữa hai tín hiệu quét dọc và quét ngang

Ở cạnh lên OA của tín hiệu quét dạng răng cưa thể hiện ở hình 10.9b sẽ cho tín hiệu sin xuất hiện trên màn ảnh đến điểm số 9. Sau đó trong thời gian cạnh xuống AB của tín hiệu quét răng cưa, chùm tia điện tử được quét ngang trở lại. Nhưng trong lúc chùm tia điện tử quay trở về thì tín hiệu quan sát vẫn tiếp tục hiện hữu theo thời gian. Do đó dẫn đến điểm bắt đầu ở chu kỳ quét thứ hai của tín hiệu khảo sát không cùng tại vị trí của lần quét thứ nhất (ví dụ ở lần quét thứ nhất (H.10.9c) bắt đầu tại số (1) nhưng lần quét thứ hai tại điểm khác).

Như vậy chúng ta có hiện tượng tín hiệu quan sát trên màn ảnh chạy (nhanh hoặc chậm) trên màn ảnh. Đó là hiện tượng không đồng bộ của tín

hiệu quét ngang và dọc.

□ Trong thời gian chùm tia điện tử quay trở về cạnh xuống của tín hiệu quét răng cưa đi vào mạch xóa đường hồi (blanking), sẽ tạo ra điện thế lưỡng V_{GK} rất âm để cho không có tín hiệu quét ngang của chùm tia điện tử xuất hiện trên màn hình trong thời gian này.

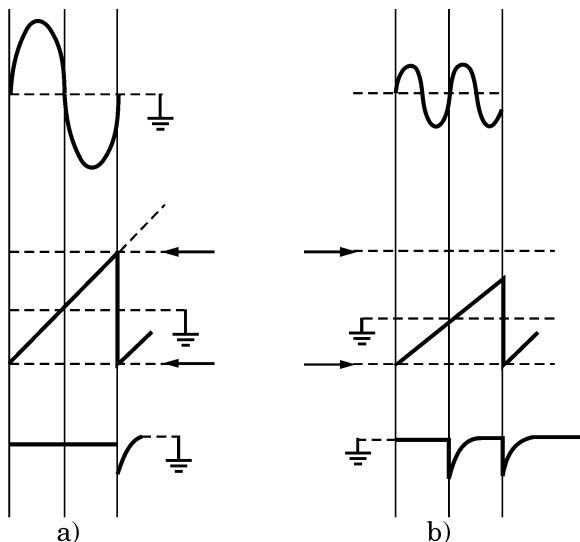


Hình 10.10: Sơ đồ khối của mạch quét tín hiệu răng cưa có sự điều khiển

□ Để cho tín hiệu quan sát và tín hiệu răng cưa có cùng vị trí khởi đầu ở mỗi lần quét, thì tín hiệu răng cưa không được tự do xuất hiện mà phải xuất hiện khi có xung kích mà xung kích có tần số phụ thuộc vào tín hiệu quan sát như trình bày của sơ đồ khối hình 10.10.

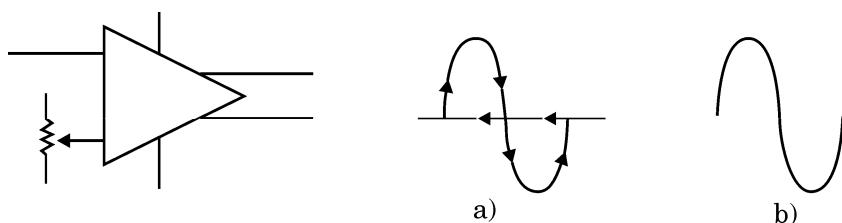
Tín hiệu quan sát được qua mạch khuếch đại trigger (*trigger amplifier*) tùy theo cách lấy ở ngõ ra sẽ có tín hiệu V_{01} và V_{02} trái pha. Sau đó được đưa

vào mạch kích Schmitt, mạch vi phân (*differentiator*), mạch xén (*clipper*). Đây là khối *dòng bộ hóa* cho tín hiệu quét răng cưa để cho tín hiệu răng cưa xuất phát cùng tại vị trí khởi đầu của tín hiệu quan sát ở phần quét dọc (H.10.11)



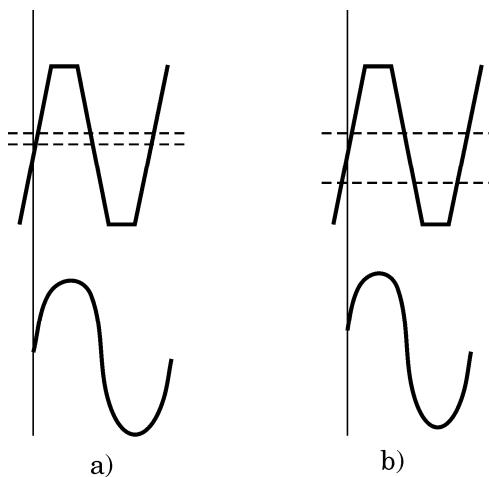
Hình 10.11: Tín hiệu quét răng cưa được đồng bộ với tín hiệu sin quan sát

Hình 10.11a: Để thể hiện một chu kỳ tín hiệu sin trên màn ảnh của dao động ký, thì tín hiệu xung kích (gai âm) phải xuất hiện trước khi cạnh lên của tín hiệu quét răng cưa đạt đến mức kích trên của mạch kích schmitt ngay tại vị trí cuối của chu kỳ của tín hiệu sin khảo sát. Điều này làm cho cạnh của tín hiệu quét đột ngột giảm về “0”. Để bắt đầu quét cho chu kỳ tín hiệu sin kế tiếp cho điểm bắt đầu giống như trước. Như vậy sự hoạt động của tín hiệu quét răng cưa được điều khiển bằng xung kích (gai âm), đồng thời khi đó tại *cạnh xuống* của tín hiệu răng cưa cũng làm cho mạch *xóa đường hồi* (blanking) tạo ra điện áp V_{GK} rất âm để không có chùm tia điện tử xuất hiện trên màn ảnh (H.10.12).



Hình 10.12: a) Tín hiệu không có mạch xóa đường hồi
b) Tín hiệu có mạch xóa

Còn ở hình 10.11b là sự thể hiện hai chu kỳ của tín hiệu sin, thời điểm bắt đầu chu kỳ thứ hai của tín hiệu sin nhờ có mạch *hold-off* (không cho tín hiệu xung kích xuất hiện) tại vị trí này của xung răng cưa, cho nên tín hiệu răng cưa tiếp tục quét ngang để cho chu kỳ thứ hai của tín hiệu sin được xuất hiện trên màn ảnh. Cho đến khi tín hiệu răng cưa đạt gần đến *mức trên* của mạch kích thì xung kích (gai âm) xuất hiện để tín hiệu răng cưa có *cạnh xuống* và làm cho tín hiệu quét trở lui. Điểm bắt đầu của tín hiệu quan sát trên màn ảnh phụ thuộc vào điện áp ra của mạch khuếch đại *diện áp kích* (triggering amplifier) điện áp ra này được điều chỉnh bởi biến trở R_{10} như ở hình 10.13. Khi điện áp ra có trị số gần bằng *mức kích trên* của mạch kích schmitt thì điểm bắt đầu xuất hiện của tín hiệu sin ở mức “0”.



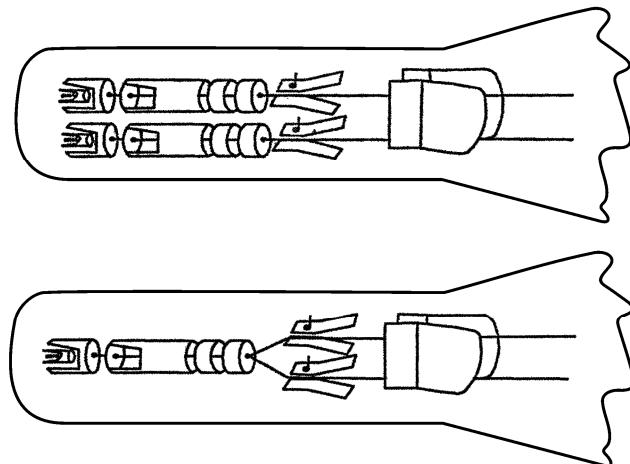
Hình 10.13: Sự thay đổi điện thế DC cho mức kích
để điều xung xung kích

Hình 10.13b: Khi điện áp ra ở cách xa *mức kích trên* của mạch kích schmitt thì điểm bắt đầu của tín hiệu quan sát xuất hiện ở mức cao hơn, phụ thuộc vào khoảng cách của hai mức này.

10.4 DAO ĐỘNG KÝ HAI KÊNH

10.4.1 Tổng quát

Để có thể cùng lúc quan sát được hai tín hiệu khảo sát trên màn ảnh, người ta thực hiện dao động ký hai kênh (hoặc nhiều kênh). Trước hết, cải tiến ống phóng tia điện tử (CRT).



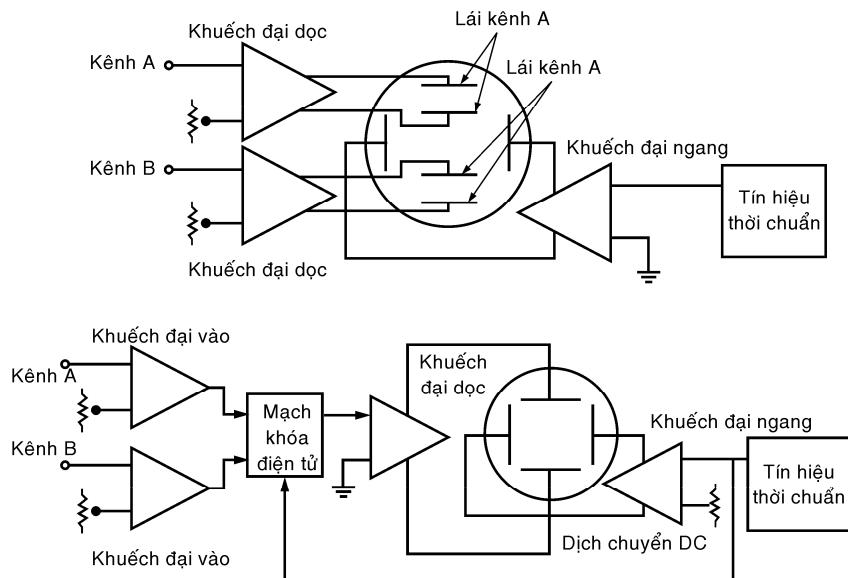
Hình 10.14: Ống phóng điện tử có hai tia sáng xuất hiện trên màn ảnh

Có hai loại:

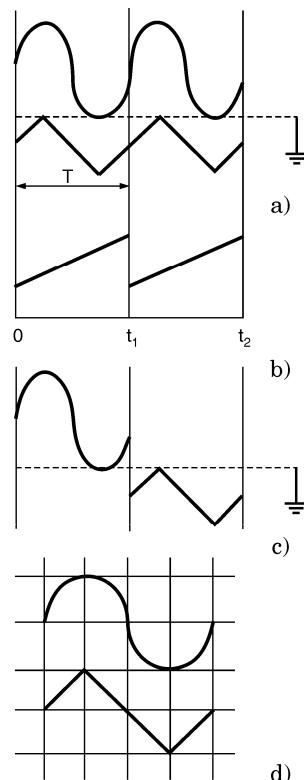
- Loại hai catốt phát ra hai chùm tia điện tử (*dual beam*) (H.10.14a)

- Loại một catốt phát ra một chùm tia điện tử nhờ *khóa chuyển đổi* điện tử thực hiện tuần tự chùm tia điện tử được quét dọc ở mỗi kênh (do tần số chuyển mạch lớn hơn tần số lưu ảnh của mắt cho nên chúng ta thấy được hai hình ảnh của hai kênh trên cùng một màn ảnh).

Như vậy mạch khuếch đại quét dọc sẽ có hai mạch cho mỗi kênh. Tín hiệu quét ngang tuần tự phối hợp với tín hiệu mỗi kênh A và B theo hình 10.16.



Hình 10.15: Sơ đồ khối dao động ký



Hình 10.16: Sự trình bày tín hiệu ở hai kênh trên màn ảnh

Ở chu kỳ thứ nhất tín hiệu quét ngang phối hợp với tín hiệu sin cho kênh A.

Ở chu kỳ thứ hai của tín hiệu quét ngang phối hợp với tín hiệu dạng răng cưa của kênh B (H.10.16c).

Kết quả hai tín hiệu ở hai kênh cùng xuất hiện trên màn ảnh.

10.5 THANH ĐO (PROBE) CỦA DAO ĐỘNG KÝ

Thanh đo của dao động ký có hai mức thay đổi điện áp.

- Mức điện áp 1: 1

- Mức điện áp 10: 1.

Điện dung

C_c - điện dung ký sinh của dây dẫn.

C_i - điện dung ngõ vào quét đọc.

R_i - điện trở vào của ngõ quét đọc.

trong trường hợp này tổng trở vào của ngõ quét đọc:

$$Z_i = [C_c + C_i] // R_i$$

Trường hợp thanh đo có bộ giảm 10:1 (H.10.18). Trong thanh đo có điện trở R_1 , tụ C_1, C_s (thay đổi) C_c khi có điện áp vào V_1 của ngõ vào quét đọc V_i :

$$V_i = V_1 \frac{[(C_c + C_s + C_i) // R_i]}{[C_1 // R_1][(C_s + C_c + C_i) // R_i]}$$

Đặt: $C_2 = C_s + C_c + C_i$.

$$V_i = V_1 \frac{C_2 // R_i}{(C_1 // R_1) + (C_2 // R_i)} = V_1 \frac{1}{1 + \frac{(C_1 // R_1)}{(C_2 // R_i)}}$$

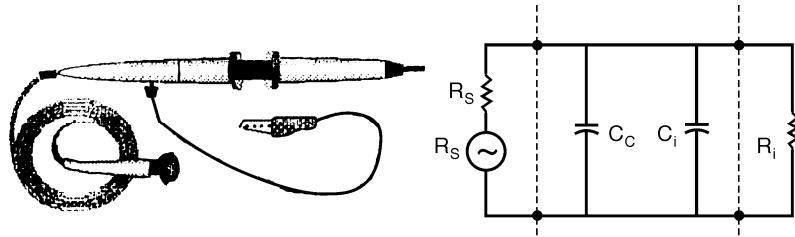
do đó để thanh đo có: $V_i = V_1$

thì: $\frac{C_1 // R_1}{C_2 // R_i} = 9$

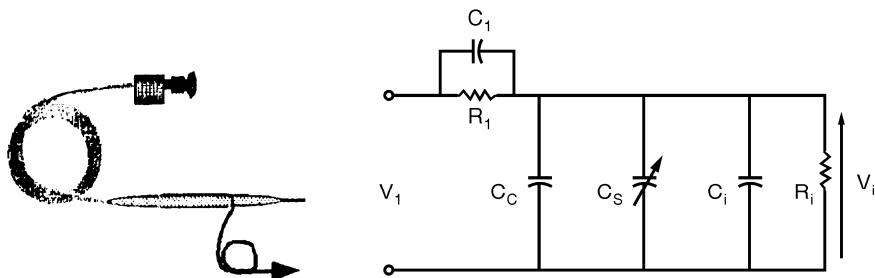
Nghĩa là: $\frac{R_1}{1 + j\omega C_1 R_1} = 9 \frac{R_i}{1 + j\omega C_2 R_i}$

hoặc: $\frac{R_1}{R_i} = 9 \frac{1 + j\omega C_1 R_1}{1 + j\omega C_2 R_i}$

Như vậy để cho tín hiệu ngõ vào quét dọc giảm đi 10 lần và không phụ thuộc vào tần số tín hiệu thì phải thỏa thêm điều kiện sau: $C_1 R_1 = C_2 R_i$, khi đó $R_1 = 9R_i$



Hình 10.17: Thanh đo không có giảm áp



Hình 10.18: Thanh đo có giảm áp 10:1

Ví dụ 10.3: $R_1 = 9M\Omega$; $C_1 = 10pF$; $R_i = 2M\Omega$; C_c (không biến); $C_i = 10pF$; C_s là tụ điện thay đổi (có trị số lớn nhất $100pF$), suy ra muôn cho mạch đo là bộ giảm 10:1 và không phụ thuộc tần số tín hiệu thì:

$$R_1 C_1 = R_i \cdot C_2$$

$$C_2 = C_c + C_s + C_i = \frac{R_1 C_1}{R_i} = \frac{9M\Omega}{1M\Omega} 10pF = C_s + C_c + 10pF = 90pF$$

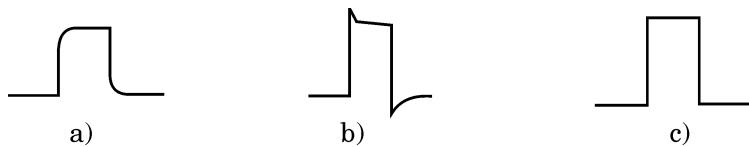
Suy ra: $C_s + C_c = 80 pF$

Khi đó nếu C_c trong khoảng từ $1pF$ đến $80pF$ thì chúng ta thay đổi được C_s để thỏa điều kiện trên. Trong trường hợp $C_c > 80pF$ thì phải thay đổi C_1 cho phù hợp.

Giả sử $C_c = 100pF$, thì C_1 phải thay trị số lớn hơn (ví dụ $C_1 = 15pF$).

Khi đó: $C_s + 100pF = (135pF - 10pF)$; điều chỉnh: $C_s = 25pF$.

Khi đưa tín hiệu xung vuông vào, sẽ có ảnh hưởng đến dạng của tín hiệu tụ C_1 và C_2 như đã nói ở trên. Nếu tín hiệu xung vuông xuất hiện trên màn ảnh có dạng hình 10.19a.



Hình 10.19: Các dạng tín hiệu xung vuông đáp ứng với tín hiệu xung vuông đưa vào ngõ quét đọc

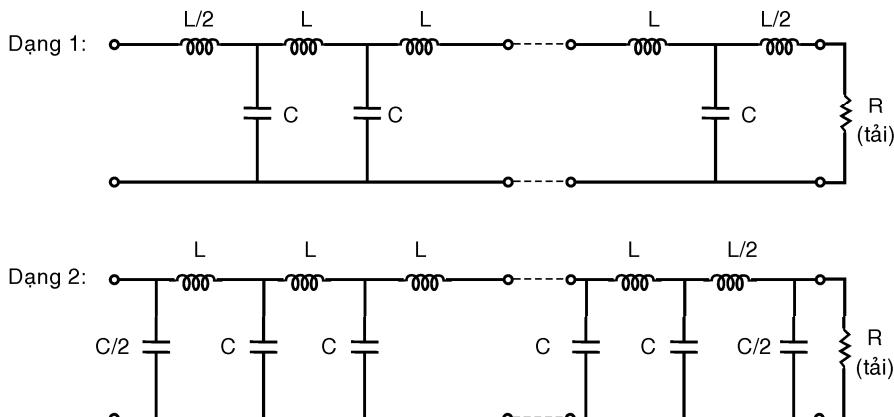
Đáp ứng của mạch RC ngõ vào của dao động ký không thích hợp với tần số cao (bổ chính tần số yếu). Khi đó chúng ta điều chỉnh C_s để tín hiệu xung vuông có dạng như hình 10.19c (bổ chính tần số đúng).

Nếu tín hiệu xuất hiện có dạng như hình 10.19b mạch RC đáp ứng quá mức đối với cạnh lên và xuống của xung. Chúng ta phải điều chỉnh tụ C_s để có đáp ứng như dạng hình 10.19c.

10.6 BỘ TẠO TRỄ

Đối với tín hiệu khảo sát có tần số cao, để cho vận tốc bay của chùm tia điện tử catốt đến bản lềch dọc hoặc lềch ngang, phù hợp với tốc độ truyền của tín hiệu từ ngõ vào đến bản cực lềch dọc hoặc lềch ngang, người ta thường cho tín hiệu đi qua bộ tạo trễ (vì tốc độ truyền tín hiệu lớn hơn vận tốc bay của điện tử).

Bộ tạo trễ thường có hai dạng loại dây song hành hoặc dây đồng trực, có hai dạng mạch như sau:



Hình 10.20: Mạch tạo trễ

Khi tín hiệu đi qua một mạch LC, nó sẽ có thời gian trễ là:

$$t(s) = \sqrt{LC} \quad \{L(H), C(F)\}$$

Khi đó tín hiệu đi qua n bộ sẽ có thời gian trễ: $T = nt$

Và điện trở tải $R = \sqrt{LC}$ để có sự điều hợp tổng trổ, giúp cho công suất tín hiệu ra không bị suy giảm.

Ví dụ 10.4: $T = 0,25\mu\text{sec}$; $n=11$ boă $R=600\Omega$. Xác định t, trị số L và C

Giải: Thời gian trễ của 1 bộ $t = 0,25 \times 10^{-6}/11 \text{ sec}$

$$\text{Do đó } \sqrt{LC} = 0,25 \times 10^{-6}/11 \text{ sec} \text{ và } R^2 = L/C = 600^2$$

$$\text{Suy ra } L = 600^2 C; \sqrt{C^2 \times 600^2} = (0,25 \times 10^{-6})/11 \text{ sec}$$

$$C = \frac{0,25 \times 10^{-6}}{11 \times 600} = \frac{2500}{66} \times 10^{-12}$$

$$C = 37,87 \text{ pF} \# 38 \text{ pF}$$

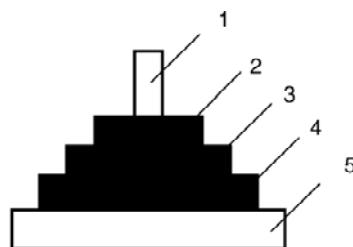
$$L = 36 \times 10^4 \times 38 \times 10^{-12} \# 13,68 \mu\text{H}$$

□ Loại dây đồng trực.

Khi tín hiệu truyền qua dây có thời gian trễ $t(s) = \frac{1m}{V(m/s)}$

V: tốc độ truyền tín hiệu, với $V = 1/\sqrt{LC}$, L, C là điện cảm và điện dung của cáp đồng trực.

- 1- Lõi polyetilene
- 2- Dây kim loại xoắn ốc
- 3- Lớp cách điện
- 4- Dây dẫn ngoài
- 5- Vỏ bọc bảo vệ



Hình 10.21: Cấu tạo của dây đồng trực

Ví dụ 10.5: Cáp đồng trực có $L = 10\mu\text{H}$; $C = 40\text{pF}$. Xác định t

Giải: Thời gian trễ t của tín hiệu truyền qua dây

$$t = 1/V = 1/(1/\sqrt{LC}) = \sqrt{LC} = \sqrt{4 \times 10^{-6}} = 2 \times 10^{-8} \text{ sec} = 0,02\mu\text{sec}$$

$$\text{Do đó tốc độ truyền tín hiệu: } V = \frac{1}{\sqrt{LC}} = \frac{1}{2 \times 10^{-8}} = 0,5 \times 10^8 \text{ m/s}$$

10.7 ỨNG DỤNG CỦA DAO ĐỘNG KÝ

10.7.1 Đo biên độ và chu kỳ

Đo biên độ: Phụ thuộc vào nút phân tần đo (theo đơn vị Volt/Div).

Ví dụ 10.6: Như ở hình 10.22 biên độ đỉnh của các tín hiệu:

$$A : V_A = 450mV(p-p);$$

$$B : V_B = 200mV(p-p)$$

Đo chu kỳ: phụ thuộc vào nút chu kỳ của tín hiệu quét răng cưa (đơn vị $\mu\text{sec}/div$).

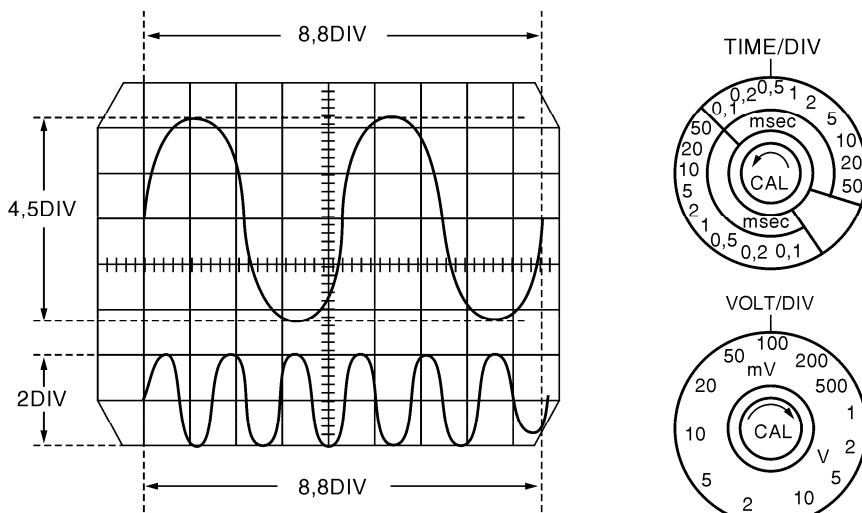
Chu kỳ của tín hiệu A:

$$2T_A = 8,8div \times 0,5 msec/div = 4,4msec \Rightarrow T_A = 2,2msec$$

Chu kỳ của tín hiệu B:

$$V_A = (4,5DIV) \times 100mV/DIV; \quad V_B = (2DIV) \times 100mV/DIV$$

$$2T_A = (8,8DIV) \times 0,5ms/DIV; \quad 6T_A = (8,8DIV) \times 0,5ms/DIV$$

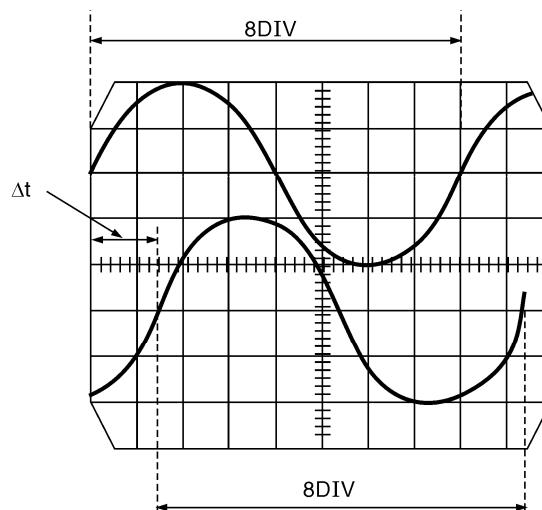


Hình 10.22: Cách tính biên độ và chu kỳ của tín hiệu quan sát

$$6T_B = 8,8div \times 0,5msec/div = 4,4msec$$

$$T_B = 4,4msec/6 = 0,73msec$$

10.7.2 Đo sự lệch pha giữa hai tín hiệu (H.10.23)



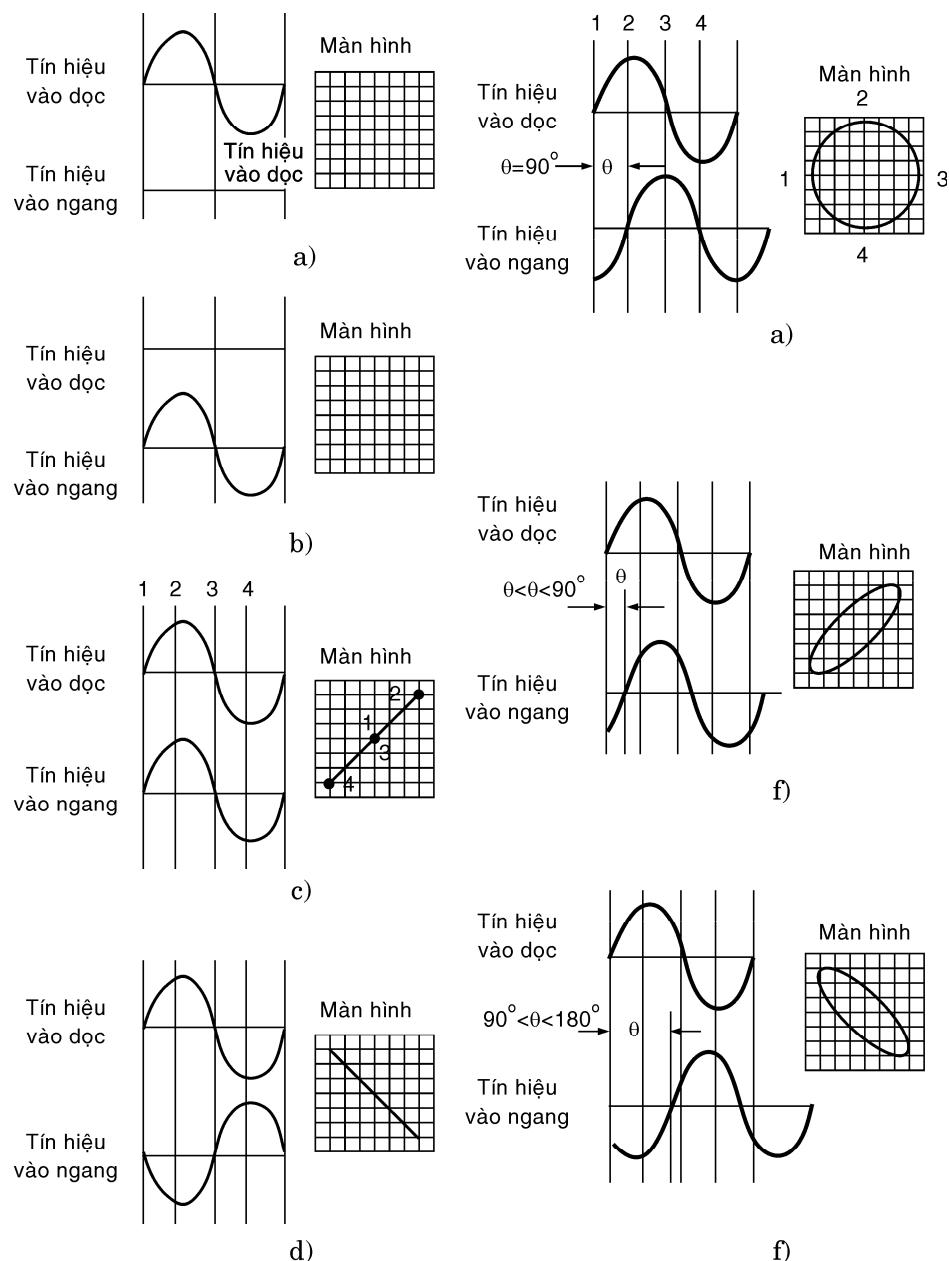
Hình 10.23: Cách tính sự lệch pha giữa hai tín hiệu A và B

Tín hiệu A và B có sự lệch pha được tính theo trực thời gian:

$\Delta t/T = 1,4 \text{ div}/8\text{div} = 0,7/4$ mà $T = 2\pi \text{ radian} = 360^\circ$ suy ra góc lệch pha α tương ứng với Δt :

$$\alpha = \frac{\Delta t}{T} 360^\circ = 360^\circ \times \frac{0,7}{4} = 63^\circ$$

- Dùng hình Lissajous để đo sự chênh lệch pha giữa hai tín hiệu (H.10.24). Tín hiệu A đưa vào ngõ quét dọc, tín hiệu B đưa vào ngõ quét ngang.
 - A, B cùng pha: hình Lissajous là đường thẳng (H.10.24c).
 - A, B trái pha (H.10.24d)
 - A, B lệch pha 90° (H.10.24e).
 - A, B lệch pha bất kỳ hình elip (H.10.24f, g). $\sin \alpha = 2B/2A$

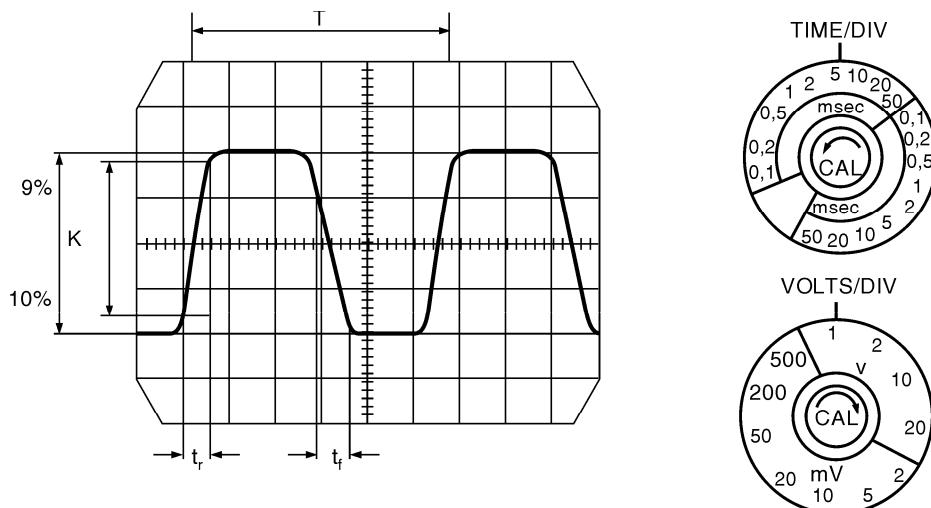


Hình 10.24: Dùng hình Lissajous để đo sự lệch pha giữa hai tín hiệu

Ví dụ: $2A = 6\text{div}$, $2B = 4\text{div}$, $\sin \alpha = 2/3 \Rightarrow \alpha = 41^\circ 8$

(trường hợp hình elip về phía phải).

$\alpha = 131^\circ 8$ (trường hợp elip về phía trái)



Hình 10.25: Cách tính t_r , t_f

10.7.3 Đo thời gian lên t_r của xung: theo định nghĩa từ 10% biên độ đến 90% biên độ

$$t_r = 0,5\text{div} \times 5\mu\text{s/div} = 2,5\mu\text{sec}$$

Và thời gian xuống $t_f = 0,6\text{div} \times 5\mu\text{sec} = 3\mu\text{sec}$

Còn tốc độ đáp ứng của xung ở cạnh lên.

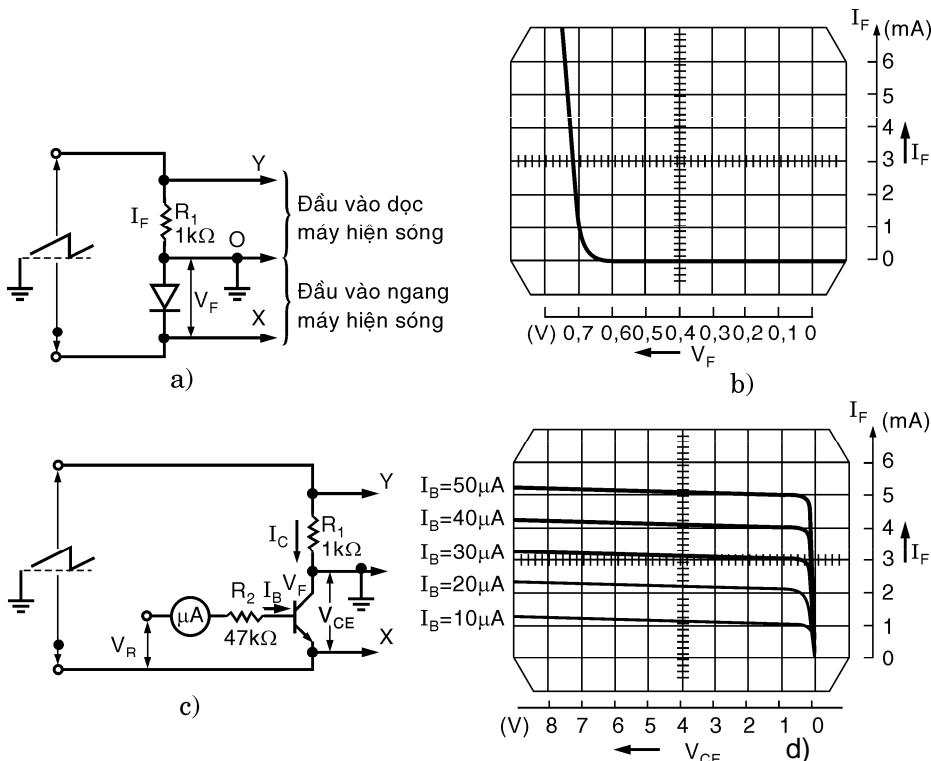
$$\frac{\Delta V}{t_r} = \frac{3,6\text{div} \times 2\text{V/div}}{2,5\mu\text{sec}} = 2,9\text{v/}\mu\text{sec}$$

10.7.4. Vẽ đặc tuyến V-I của linh kiện điện tử

□ Vẽ đặc tuyến $I_d = f(V_d)$ (H.10.26a)

Mạch được phân cực bởi tín hiệu răng cưa hoặc tín hiệu sin, điện áp hai đầu điện trở R_L vào ngõ dọc Y , có điện áp hai đầu diod đưa vào ngõ quét ngang X (điểm 0 nối mass của dao động ký).

Đặc tuyến $I_d = f(V_d)$ được xuất hiện trên màn ảnh dao động ký (H.10.26b)



Hình 10.26: Mạch vẽ đặc tuyến $I_d = f(V_d)$ và $I_c = f(V_{CE})$ của diod và transistor

a) Mạch vẽ đặc tuyến $V - I$ của diod

b) Đặc tuyến $V - I$ của diod trên màn hình dao động ký

c) Mạch vẽ đặc tuyến $V_{CF} - I_C$ của transistor BJT theo thông số I_B

d) Đặc tuyến $V_{CF} - I_C$ trên màn hình dao động ký

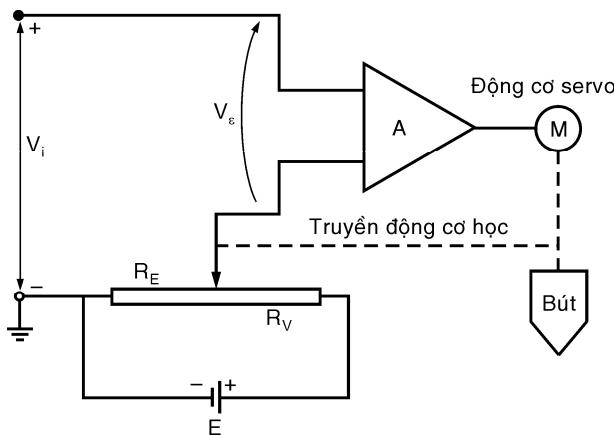
└ Vẽ đặc tuyến $I_C = f(V_{CE})$.

Cực nền được phân cực bởi điện áp một chiều V_R thay đổi, μ A- kế theo dõi dòng phân cực I_B . Điện áp của tín hiệu rơm cưa được cung cấp cho cực C-E của transistor (có thể cung cấp bởi tín hiệu sin nhưng phải mắc nối tiếp với diod chỉnh lưu bán kỵ dương cung cấp cho mạch).

10.8 VÔN KẾ TỰ GHI KẾT QUẢ (Voltmeter Recorder)

Nguyên lý hoạt động:

Dùng phương pháp đo điện áp bằng biến trở tự cân bằng (self balancing potentiometer) (xem hình 10.27).



Hình 10.27: Mạch nguyên lý của máy vẽ X - Y

$V_c = V_i - KE \neq 0$ sẽ được khuếch đại bởi A, điều khiển động cơ servo M quay theo chiều kim đồng hồ nếu $V_c > 0$ hoặc quay ngược lại nếu $V_c < 0$, qua hệ thống truyền động cơ học sẽ làm dịch chuyển con chạy của biến trở đo lường R_v để điều chỉnh điện áp KE cho đến khi $V_c = 0$ thì động cơ dừng lại. Đồng thời cũng làm dịch chuyển bút ghi kết quả đo V_i trên băng giấy.

Sơ đồ khối của vôn kế tự ghi kết quả đo:

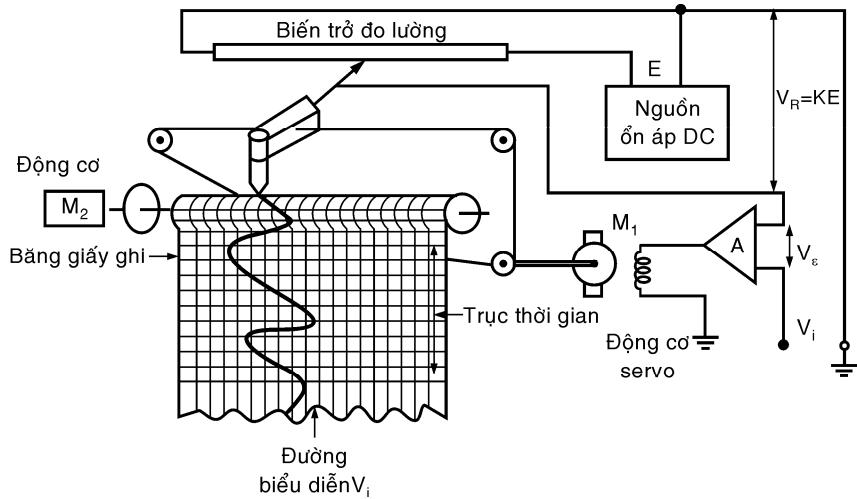
Sơ đồ khối được diễn tả bởi hình 10.28

Vôn kế tự ghi có đặc điểm như sau:

- Đáp ứng với những tín hiệu V_i thay đổi có tần số thấp (do đáp ứng tần số của hệ thống cơ học).

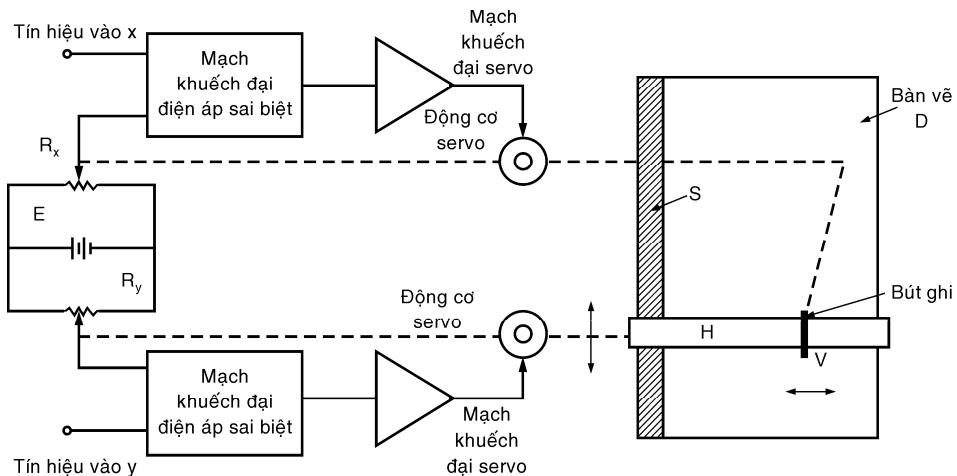
- Sự tuyến tính phụ thuộc vào độ tuyến tính của biến trở đo lường.

- Đo được những điện áp khoảng millivôn (millivôn-kết tự ghi), không phụ thuộc vào nội trở của nguồn điện áp đo.



Hình 10.28: Vôn-kế tự ghi kết quả trên giấy theo thời gian

10.9 MÁY GHI TRÊN HỆ TRỤC X - Y (X - Y recorder)



Hình 10.29: Sơ đồ khối của máy ghi X - Y

Máy ghi X - Y gồm có hai khối hoạt động trên nguyên lý biến trở tự cân bằng.

Bút ghi V di chuyển trượt trên thanh H khi điện áp vào X thay đổi.

Thanh H di chuyển theo tín hiệu vào Y trượt trên thanh S.

Hàm truyền của tín hiệu y theo x được bút ghi vẽ trên giấy khổ A₄ đặt trên bản vẽ D.

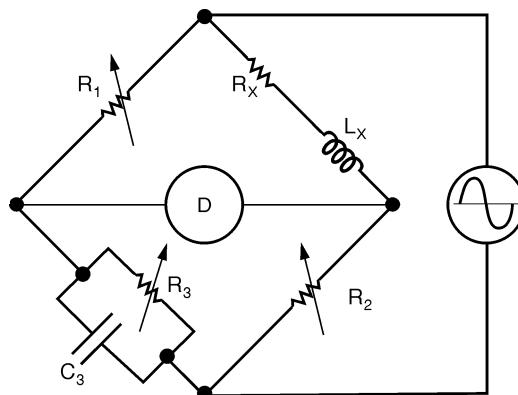
PHỤ LỤC

1. ĐỀ THI KỸ THUẬT ĐO - LỚP DD 96 – HỌC KỲ 2/99

Câu 1: a) Giải thích tại sao phải dùng hệ số dạng k_f và hệ số đỉnh k_p trong vôn-kế điện tử đo điện áp A.C.?

b) Cho biết quan hệ tín hiệu ra của mạch tích phân hai độ dốc trong biến đổi A/D của vôn-kế chỉ thị số theo điện áp đo V_{IN} , điện áp chuẩn E_r , thời gian nạp t_1 và thời gian xả t_2 ?

Câu 2: a) Cho biết sự chính xác của phần tử đo dùng cầu đo phụ thuộc vào yếu tố gì của các phần tử trong cầu đo?



Hình 1

b) Với mạch cầu đo ở hình 1, hãy tính L_x , R_x và Q của cuộn dây cần đo theo các phần tử còn lại của cầu khi cầu cân bằng.

Câu 3: Vẽ mạch đo công suất tác dụng, công suất phản kháng và $\cos\phi$ cho tải ba pha dùng watt-kế ba pha, var-kế ba pha loại 2,5 phần tử và $\cos\phi$ -kế ba pha kết hợp với biến dòng.

Phần tự chọn (SV làm phần A hoặc B)

Phần A

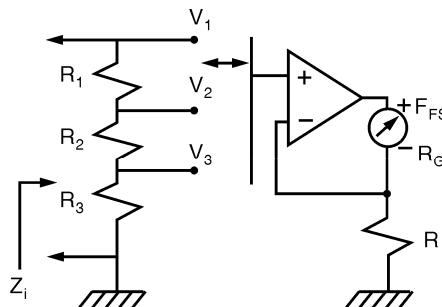
Câu 4a: Cho một vôn-kế điện động có thang đo DC và AC trùng nhau tại tần số f_o

a) Hãy vẽ mạch tương đương cho vôn-kế trên

b) Tính sai số tương đối $|V_{AC} - V_{DC}|/V_{AC}| \cdot 100\%$ theo các thành phần tương đương R và L khi đo điện áp AC tại tần số f_1 .

c) Áp dụng khi $f_o = 50Hz$; $f_1 = 1kHz$; $L = 100mH$; $R = 1k\Omega$.

Câu 5a: Cho mạch đo như hình 2



Hình 2

- Xác định R , Z_i (tổng trở vào).
- Trị số tầm đo V_2 , V_3 , khi tầm đo $V_I = 0,1V$, $R_1 = 900k\Omega$, $R_2 = 90k\Omega$, $R_3 = 10k\Omega$; $I_{FS} = 50\mu A$; $R_G = 1k\Omega$

Phần B

Câu 4b: Người ta đo một điện trở có trị số danh định là $20k\Omega$ bằng vôn và ampe theo hai cách rẽ dài và rẽ ngắn. Với ampe có:

nội trở $R_A = 1\Omega$; vôn-kế có thang đo $0 - 50V$ và độ nhạy $20k\Omega/V$.

a) Hãy tính giá trị điện trở đo được từ hai cách trên theo số chỉ của vôn và ampe.

b) Tính giá trị sai số tương đối phần trăm của hai số liệu đo trên. Từ đó hãy cho biết nên dùng cách đo nào thì phù hợp?

Câu 5b: Cho mạch đo dòng như hình 3. Biết rằng khung quay từ điện có $I_{FS} = 50\mu A$,

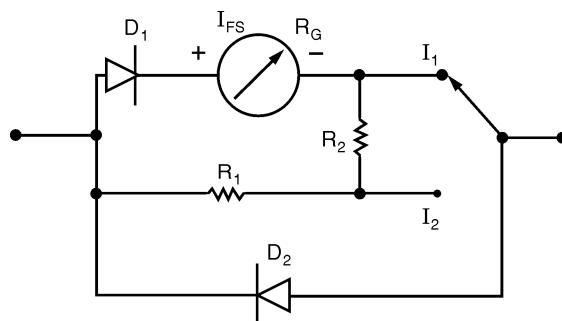
$$R_G = 2k\Omega; V_D(RMS) = \sqrt{2}/2 (V); I_1(RMS) = 1,00005\sqrt{2} (A);$$

$$I_2(RMS) = 3,00015\sqrt{2} (A). Tín hiệu đo có k_p = k_f = \sqrt{2}.$$

a) Hãy vẽ dạng của dòng điện cần đo.

b) Tính các trị số của điện trở R_1 và R_2 theo trị hiệu dụng của các dòng điện cho trên hình 3.

c) Nếu dòng điện đo có dạng sin thì các thang đo mới sẽ là bao nhiêu nếu các điện trở như câu b.

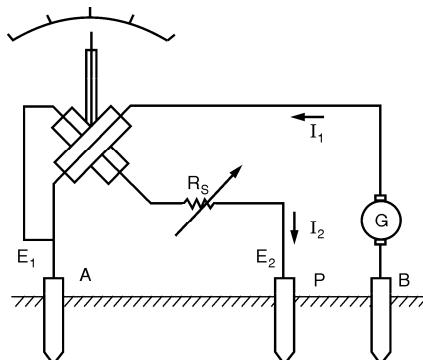


Hình 3

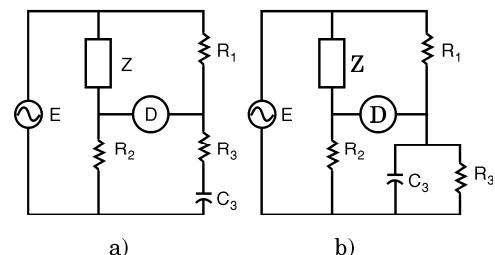
2. ĐỀ THI KỸ THUẬT ĐO - K95 NĂM HỌC 97-98

Câu 1: Cho biết nguyên lý hoạt động của máy đo điện trở đất dùng tì số kẽ từ điện (H.1). Trong thực tế dòng I_1 , I_2 và dòng qua điện trở đất là dòng DC hay AC. Điện áp E_1 , E_2 là DC hay AC. Như vậy máy đo thực tế có thêm bộ phận gì?

Câu 2: Trong cầu đo (H.2) sinh viên hãy cho biết cầu đo nào đo cuộn dây Z có Q lớn và cuộn dây Z có Q nhỏ. Tính L_X , R_X , Q cho hai dạng cầu đo.



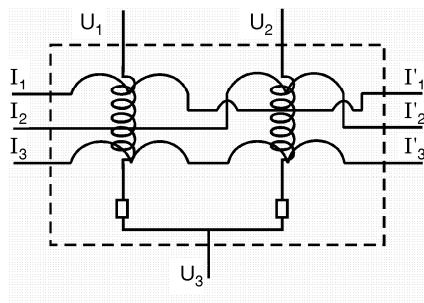
Hình 1



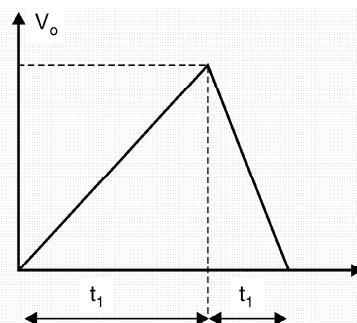
Hình 2

Câu 3: Tại sao tín hiệu thời chuẩn (tín hiệu quét ngang) trong dao động ký có dạng răng cưa? Giải thích.

Câu 4: Giải thích watt-kế 3 pha 2(1/2) phần tử được chuyển thành var-kế đo công suất phản kháng tải 3 pha thực hiện như thế nào? Nối mạch đo (H.3) cho hợp lý.



Hình 3



Hình 4

Câu 5: Khảo sát tín hiệu ra của mạch tích phân hai độ dốc (H.4).

- Cho biết t_1 , t_2 , V_o có đặc điểm gì và phụ thuộc vào yếu tố nào của mạch đo và dung lượng của bộ đếm.
- Xác định điện áp đo (V_I)_{MAX} khi độ dốc lớn nhất (K_I)_{MAX} = 1mV/msec. Cho biết dung lượng bộ đếm 2000 xung có chu kỳ T = 1msec.

Câu 6: Khảo sát mạch đo và dạng tín hiệu đo (H.5).

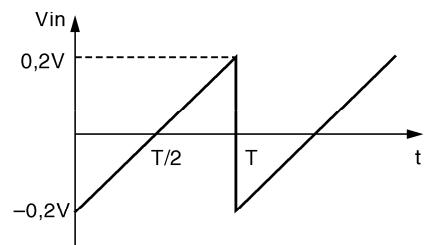
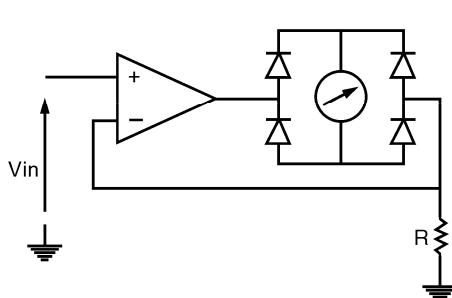
- Xác định điện trở R khi $V_D = 0,3V$ (RMS)

Cơ cấu đo M ($I_{MAX} = 50 \mu A$, $R_I = 1K\Omega$)

Hệ số dãy $k_f = 1,155$; Hệ số đĩnh $k_p = 1,732$.

- Với R đã được xác định ở câu a, thì V_{DO} (hình sin) có trị số bao nhiêu?

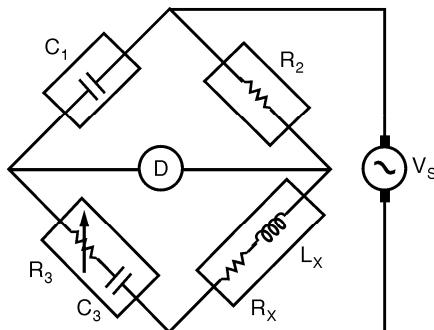
Biết $k_f = 1,11$; $k_p = 1,414$



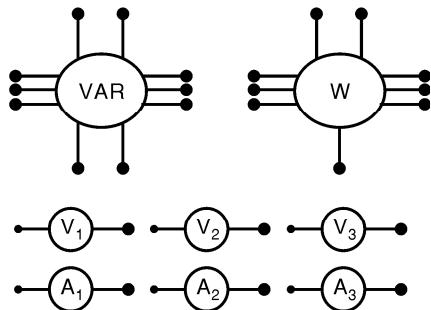
Hình 5

3. ĐỀ THI MÔN KỸ THUẬT ĐO LỚP DĐ95

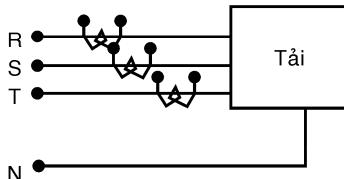
Câu 1: Cho biết khác nhau của nguyên lý đo của Ohm-kế thường và Ohm-kế điện tử.



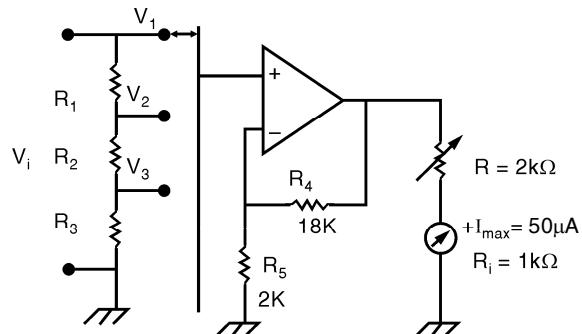
Hình 1



Hình 2



Hình 3



Hình 4a

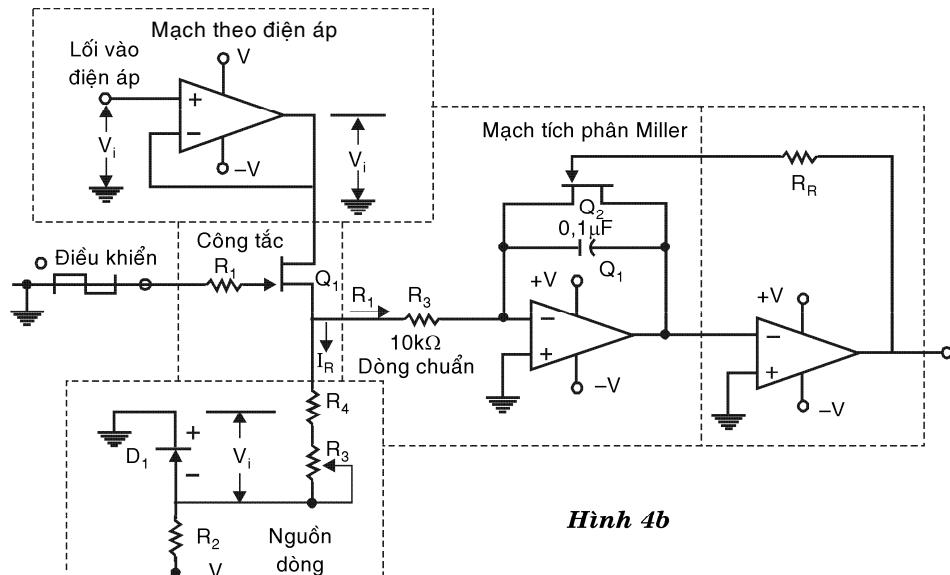
Câu 2: a) Cho mạch đo sau đây (H.1) xác định L_x , R_x , hệ số Q của cuộn dây.

b) Cho biết tại sao phải dùng Q-kế để đo hệ số Q ở tần số cao.

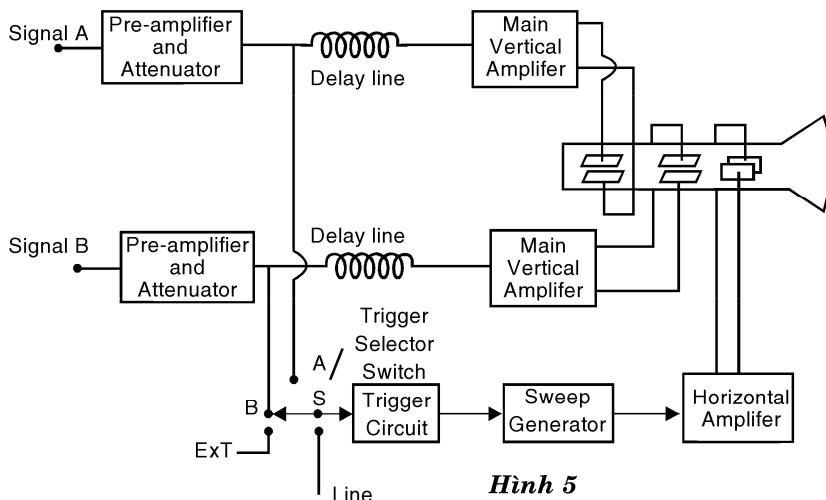
Câu 3: Giải thích nhiệm vụ của từng khối trong hình 2.

Câu 4: a) Cho biết ưu điểm của watt-kế 2,5 phần tử so với watt-kế hai phần tử.

b) Nối mạch đo hợp lý cho hình 3.



Hình 4b



Hình 5

Phản tự chọn (Chọn câu 5A hoặc 5B)

Câu 5a: Cho mạch đo sau (H.4a)

a) Xác định R_1 , R_2 , R_3 khi $Z_I = 1M\Omega$ (tổng trở vào) và $V_2 = 1V$ (DC), $V_3 = 10V$ (DC).

b) Xác định V'_1 , V'_2 , V'_3 (AC) khi thêm diod nối tiếp với cơ cấu chỉ thị có $V_D = 0,3$ V (R_1 , R_2 , R_3 vẫn có trị số không đổi).

Câu 5b: Cho mạch tích phân hai độ dốc (H.4b). Xung vuông điều khiển có bán kíy tương đương với 1563 xung clock, biết rằng xung clock có tần số 1MHz.

Thời gian T_2 tương đương với 1500 xung clock, khi điện áp cần đo $V_i = 1V$.

Hãy tính trị giá nguồn dòng I_r khi $R_s = 10k\Omega$, $C_l = 0,1 \mu F$.

4. ĐỀ THI MÔN KỸ THUẬT ĐO HK1 1999-2000

Câu 1: a) Chứng minh góc quay của khung quay điện động tỉ lệ thuận với công suất tác dụng của tải xoay chiều.

b) Trình bày tất cả các phương pháp đo công suất tác dụng của tải ba pha bằng watt-kế một pha.

Câu 2: Một ohm-kế có mạch đo như hình 1. Cho biết cơ cấu đó có nội trở $R_m = 5k\Omega$, dòng $I_{FS} = 100\mu A$, nguồn $V_1 = 3,2V$, khi $R_x = 6k\Omega$ kim lêch nửa thang đo. Tìm giá trị của R_1 và R_2 (biết R_1 lớn hơn R_2).

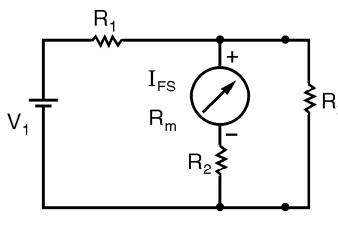
Câu 3: Cho mạch đo hình 2a và dạng điện áp như hình 2b.

a) Tính giá trị điện trở R . Biết rằng khung quay có $I_{FS} = 50\mu A$, $R_m = 1k\Omega$

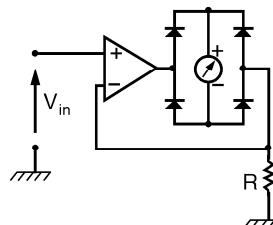
Tín hiệu đo có hệ số dạng $K_f = 2/\sqrt{3}$; hệ số đỉnh $K_a = \sqrt{3}$

b) Từ giá trị R vừa tính, nếu tín hiệu đo có hệ số dạng $K_f = \pi/2\sqrt{2}$; hệ số đỉnh $K_a = \sqrt{2}$ hãy tính giá trị hiệu dụng lớn nhất của tín hiệu này mà máy đo được.

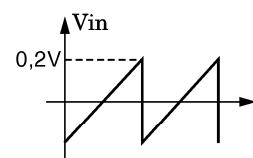
Sinh viên chọn một trong hai phần sau:



Hình 1



Hình 2a



Hình 2b

Phần A

Câu 4: Ứng dụng các dạng ellip lissajour để lấy mẫu tần số một máy phát tín hiệu dạng sóng sin.

Câu 5: Phương pháp trộn sóng để đo L hoặc C.

Câu 6: Trình bày rõ phương pháp nắc thang trong vôn-kế số.

Câu 7: Mạch biến đổi dạng tín hiệu tam giác sang dạng sin.

Phần B

Câu 8: Vẽ sơ đồ khối của tầng đồng bộ trong dao động ký tia âm cực. Dạng sóng sau mỗi khối? Nguyên tắc để tạo sóng răng cưa ở mạch quét?

Câu 9: Nguyên tắc hoạt động của Q kế? Cách đo L và C bằng Q kế?

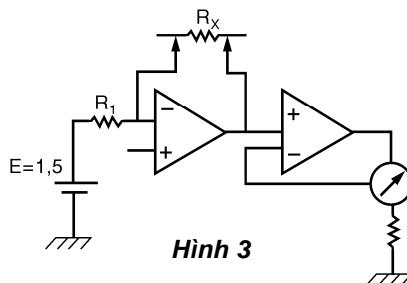
Câu 10: Phương pháp tích phân hai độ dốc (sơ đồ, dạng sóng, biểu thức tính).

5. ĐỀ THI MÔN KỸ THUẬT ĐO HK2/ 1999-2000 LỚP BT98 ĐCN ĐT VT

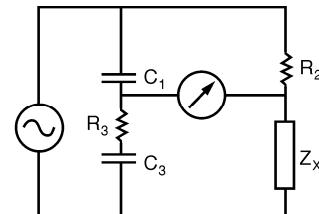
Câu 1: Cho biết nguyên lý phân tần đo của ampe kế thường và ampe kế điện tử, giải thích?

Câu 2: Cho biết tại sao có hiện tượng không đồng bộ của tín hiệu quan sát trên dao động ký? Làm thế nào để có sự đồng bộ?

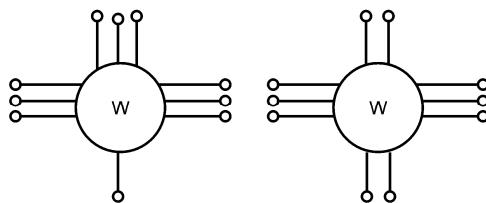
Câu 3: Viết phương trình cân bằng của cầu đo (H.1).



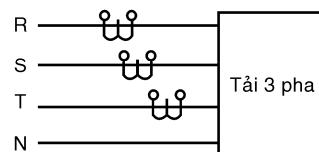
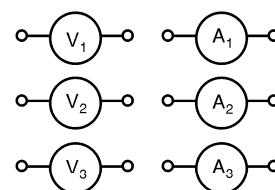
Hình 3



Hình 1



Hình 2



Xác định $Z_X = R_X + jX$ (X là cảm hoặc dung kháng) để sao cho trị số của phần tử đo không phụ thuộc vào tần số và tính hệ số Q (hoặc D) của phần tử đo?

Câu 4: Vẽ mạch đo công suất tác dụng và phản kháng của tải ba pha với watt-kế ba phần tử và var-kế 2,5 phần tử theo hình 2.

Câu 5: Cho mạch đo sau đây (H.3):

Mạch đo có chỗ sai sót, hãy vẽ lại cho đúng; bộ chỉ thị có $I_{\max} = 50\mu A$ và $R_m = R = 1k\Omega$. Xác định R_I để cho trị số $R_{x,\max} = 100\Omega$ ở tầm đo XI .

Khi thay đổi tầm đo ($X10, X100\dots$) thì R_I có trị số như thế nào?

Phụ lục: Dạng tín hiệu và hệ số dạng K_f – hệ số đỉnh K_p

	Dạng tín hiệu	Trị hiệu dụng RMS	Trị trung bình MAD	Hệ số dạng $K_f = \frac{\text{RMS}}{\text{MAD}}$	Hệ số đỉnh K_p
	Sóng sin	$\frac{V_m}{\sqrt{2}}$ 0,707 V_m	$\frac{2}{\pi} V_m$ 0,637 V_m	$\frac{\pi}{2\sqrt{2}} = 1,111$	$\sqrt{2} = 1,414$
	Xung vuông đối xứng	V_m	V_m	1	1
	Sóng tam giác hoặc răng cưa	$\frac{V_m}{\sqrt{3}}$	$\frac{V_m}{2}$	$\frac{2}{\sqrt{3}} = 1,155$	$\sqrt{3} = 1,732$
	Chuỗi xung				
	η	$V_m\sqrt{\eta}$	$V_m\eta$	$\frac{1}{\sqrt{\eta}}$	$\frac{1}{\sqrt{\eta}}$
	1	$\alpha = \frac{\eta}{1-\eta}$	V_m	1	1
	0,25	0,3333	$0,5V_m$	2	2
	0,0625	0,0667	$0,25V_m$	4	4
	0,0156	0,0159	$0,125V_m$	8	8
	0,01	0,0101	$0,1V_m$	10	10

Tài liệu tham khảo

1. David A. Bell, *Electronic Instrumentation and Measurements*, Prentice Hall International Edition.
2. Larry D. Jones and Foster Chin, *Electronic Instruments and Measurement*, John Wiley & Sons, xuất bản lần 1, 1987; Practice Hall International,
3. H. S. Kalsi, *Electronic Instrumentation*, Ta Ta Mc Grawhill Publishing Company Limited - New Delhi, 1995.
4. Clyde F. Coombs Jr. Edition Chief, *Electronic Instrument Handbook*, Mc GrawHill Inc, 1995.
5. V. Bopov, *Electrical Measurements*, Mir Publisher - Moscow, 1982.
6. Georges ASCH et collaborateurs, *Les Capteurs en instrumentation industrielle*, Dunod édition, xuất bản lần 3, 1998.