

# **ĐO LƯỜNG ĐIỆN VÀ THIẾT BỊ ĐO**

## **Chương 1. Khái niệm về đo lường (2,0,0)**

- 1.1. Đại lượng đo lường
- 1.2. Chức năng, đặc điểm của thiết bị đo
- 1.3. Chuẩn hóa trong đo lường
- 1.4. Sai số trong đo lường
- 1.5. Hệ số đo

## **Chương 2. Các cơ cấu đo lường (4,0,0)**

- 2.1. Cơ cấu chỉ thị kim
  1. Cơ cấu từ điện
  2. Cơ cấu điện từ
  3. Cơ cấu điện động
- 2.2. Thiết bị chỉ thị số
  1. Mã
  2. Chỉ thị số
  3. Các mạch giải mã

## **Chương 3. Đo điện áp và dòng điện (6,2,0)**

- 3.1. Đo dòng một chiều (DC) – dòng xoay chiều (AC)
  1. Đo dòng DC
  2. Đo dòng AC
  3. Ảnh hưởng của Amper kế đến mạch đo
- 3.2. Đo điện áp DC – AC
  1. Đo điện áp DC
  2. Đo điện áp AC
  3. Ảnh hưởng của Volt kế đến mạch đo
- 3.3. Đo điện áp DC bằng biến trở
- 3.4. Volt kế điện tử DC
  1.  $V_{DC}$  dùng Transistor
  2.  $V_{DC}$  dùng FET
  3.  $V_{DC}$  dùng khuếch đại thuật toán (Op-amp)
  4.  $V_{DC}$  giá trị nhỏ dùng phương pháp “Chopper”
- 3.5. Volt kế điện tử AC
  1. Khái quát
  2. Phương pháp trị chỉnh lưu trung bình
  3. Phương pháp trị hiệu dụng thực
  4. Phương pháp trị đỉnh
- 3.6. Amper kế điện tử đo DC-AC
  1. Đo dòng DC
  2. Đo dòng AC

**Chương 4. Đo điện trở (4,1,0)**

- 4.1. Đo điện trở bằng Volt kế và Amper kế
- 4.2. Mạch đo R trong Ohm kế
- 4.3. Cầu Wheatstone
  1. Cầu Wheatstone cân bằng
  2. Cầu Wheatstone không cân bằng
- 4.4. Cầu đôi Kelvin
- 4.5. Đo điện trở có trị số lớn
  1. Dùng Volt kế,  $\mu A$  kế
  2. Megaohm chuyên dụng
- 4.6. Đo điện trở nối đất

*Bài tập Chương 4*

**Chương 5. Đo điện dung, điện cảm, hồ cảm (3,1,0)**

- 5.1. Đo C, L và M dùng Volt kế, Amper kế
  1. Đo tụ điện
  2. Đo điện cảm
  3. Đo hồ cảm
- 5.2. Đo C và L dùng cầu đo
  1. Cầu Wheatstone xoay chiều
  2. Cầu đơn giản đo C và L
  3. Cầu đo LC phổ quát

*Bài tập Chương 5*

**Chương 6. Đo công suất và điện năng (6,2,0)**

- 6.1. Đo công suất một chiều (DC)
  1. Phương pháp dùng Volt kế và Amper kế
  2. Phương pháp W-kế
- 6.2. Đo công suất xoay chiều (AC) một pha
  1. Dùng Volt kế và Amper kế
  2. Dùng Watt kế
  3. Dùng phối hợp biến dòng, biến áp với Watt kế điện động
  4. Đo công suất hiệu dụng của tải bằng bộ biến đổi nhiệt điện
- 6.3. Đo công suất tải ba pha
- 6.4. Đo công suất phản kháng của tải
  1. Công suất phản kháng tải một pha
  2. Công suất phản kháng tải ba pha
- 6.5. Đo điện năng
  1. Điện năng kế một pha
  2. Điện năng kế ba pha
- 6.6. Đo công suất, điện năng bằng Watt met, công-tơ điện tử
- 6.7. Đo hệ số công suất ( $\cos\varphi$ )
  1. Đo  $\cos\varphi$  dùng Volt kế và Amper kế
  2.  $\cos\varphi$  kế dùng cơ cấu điện động
- 6.8. Thiết bị chỉ thị đồng bộ hóa

6.9. Tần số kế

1. Tần kế bản rung
2. Tần kế điện động hoặc sắt điện động
3. Tần kế dùng cơ cấu từ điện có chỉnh lưu

**Chương 7. Dao động ký**

**(6,2,0)**

7.1. Ống phóng điện tử

7.2. Các khối chức năng trong dao động ký

1. Sơ đồ chung
2. Khối khuếch đại Y
3. Khối khuếch đại X

7.3. Sự tạo ảnh trên màn hình dao động ký

1. Tín hiệu vào trục X, Y
2. Sự đồng bộ giữa X(t) và Y(t)

7.4. Dao động ký hai tia

1. Cấu tạo
2. Sơ đồ khối

7.5. Đầu đo

7.6. Bộ tạo trễ

7.7. Dao động ký số và dao động ký có ứng dụng Vi xử lý

**Chương 8. Thiết bị phân tích tín hiệu**

**(2,0,0)**

8.1. Máy đo độ méo

1. Định nghĩa
2. Mạch nguyên lý đo

8.2. Q-met

1. Nguyên lý đo Q
2. Thiết bị thực tế

8.3. Máy phân tích phổ

Máy phân tích phổ theo nguyên lý TRF

**Chương 9. Một số thiết bị đo thông thường**

**(4,0,0)**

9.1. VOM (cơ điện, điện tử)

9.2. Amper kềm

9.3. Megaohm

9.4. Máy phát tín hiệu chuẩn cao tần, âm tần

9.5. Tần kế cao tần, âm tần

9.6. Thiết bị đo độ sâu điều chế AM, FM

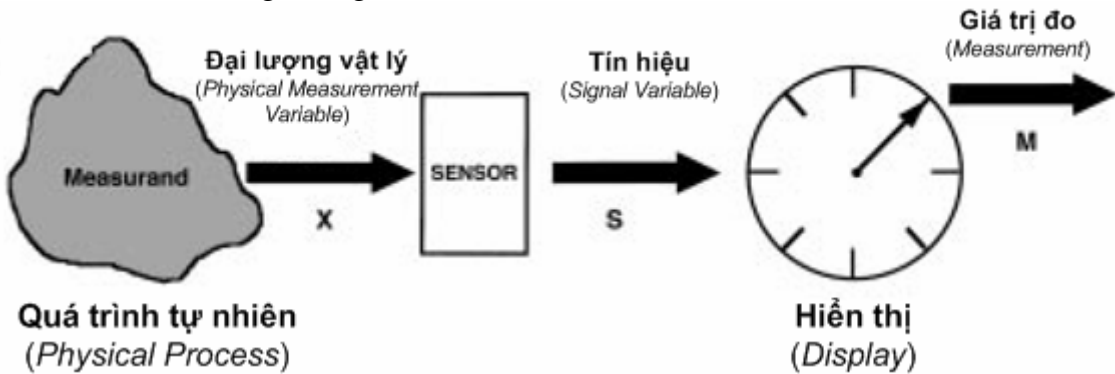
## CHƯƠNG 1. KHÁI NIỆM VỀ ĐO LƯỜNG (2,0,0)

### 1.1 Đại lượng đo lường

Đo lường là sự *so sánh giá trị* của *đại lượng chưa biết* với *giá trị* của *đại lượng* đã được *chuẩn hóa*.

Trong lĩnh vực đo lường điện, dựa trên tính chất cơ bản của đại lượng đo, người ta phân biệt thành 2 loại:

- Đại lượng điện (*Electrical Measurand*)
- Đại lượng không điện (*Non-Electrical Measurand*)



**Hình 1.1.** Mô hình thiết bị đo

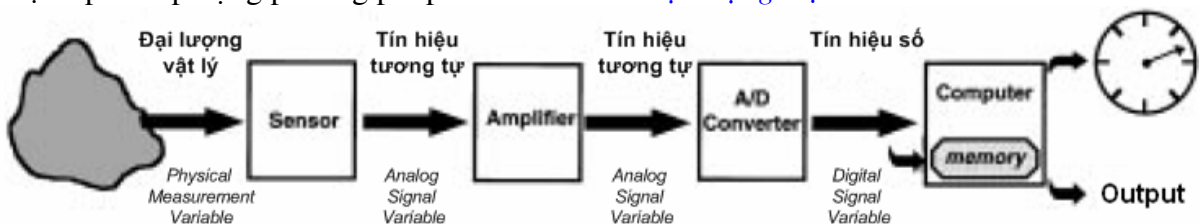
#### 1. Đại lượng điện

*Đại lượng điện* được chia làm 2 loại:

- *Đại lượng điện tích cực (Active)*. Đại lượng điện áp, dòng điện, công suất là những đại lượng mang năng lượng điện. Khi đo các đại lượng này, năng lượng của những đại lượng cần đo này sẽ cung cấp cho các mạch đo.
- *Đại lượng điện thụ động (Passive)*. Đại lượng điện trở, điện dung, hồ cảm... các đại lượng này, bản thân chúng không mang năng lượng cho nên cần phải cung cấp dòng hoặc áp khi đưa các đại lượng này vào mạch đo.

#### 2. Đại lượng không điện

Đây là những đại lượng hiện hữu trong đời sống (nhiệt độ, áp suất, trọng lượng, độ ẩm, độ pH, nồng độ, tốc độ, gia tốc...). Để đo những *đại lượng không điện*, nói chung ta phải sử dụng những mạch *chuyển đổi* để *biến* những đại lượng này thành dòng điện hoặc điện áp rồi áp dụng phương pháp đo như đối với *đại lượng điện*.



**Hình 1.1.** Mô hình thiết bị đo thực tế, sử dụng máy tính

### 1.2 Chức năng, đặc điểm của thiết bị đo

Chức năng và đặc điểm cơ bản của thiết bị đo nói chung là cung cấp *thông tin* chính xác và kịp thời về *đại lượng đang được khảo sát*. Kết quả đo có thể được lưu trữ, hiển thị và truyền để điều khiển.

### 1.3 Chuẩn hóa trong đo lường

Sự chính xác của thiết bị đo lường được xác định thông qua việc *chuẩn hóa* (*calibration*) khi thiết bị được xuất xưởng. Việc chuẩn hóa được xác định thông qua 4 cấp như sau:

- **Cấp 1** : *Chuẩn quốc tế* (International Standard). Các thiết bị đo lường muốn được cấp chuẩn quốc tế đều phải được thực hiện định chuẩn tại *Trung tâm đo lường quốc tế* tại Paris (Pháp). Những thiết bị đo được chuẩn hóa *theo cấp 1* đều được định kỳ kiểm tra và đánh giá định kỳ.
- **Cấp 2** : *Chuẩn quốc gia* (National Standard). Các thiết bị đo lường tại các *Viện định chuẩn quốc gia* ở các nước trên thế giới được định theo chuẩn quốc tế và các thiết bị đo lường trong một quốc gia được *Viện định chuẩn quốc gia* kiểm tra, đánh giá và cấp giấy chứng nhận đạt chuẩn.
- **Cấp 3** : *Chuẩn khu vực* (Zone Standard). Trong một quốc gia có thể có nhiều chuẩn khu vực, và thiết bị dùng để định chuẩn đều phải đạt *Chuẩn quốc gia* (Cấp 2).
- **Cấp 4** : *Chuẩn phòng thí nghiệm* (Laboratory Standard). Trong một khu vực có thể có nhiều phòng thí nghiệm được cấp phép để định chuẩn cho các thiết bị dùng trong công nghiệp.

**Tóm lại:** Thiết bị đo lường khi được sản xuất ra được chuẩn hóa tại cấp nào sẽ mang chất lượng tiêu chuẩn đo lường của cấp đó. Ngoài ra, để đảm bảo độ chính xác và tin cậy, các thiết bị đo lường đều phải định kỳ chuẩn hóa.

### 1.4 Sai số trong đo lường

*Sai số* trong *đo lường* nói chung là sự *khác biệt* giữa *giá trị đo được* với *trị số tin cậy* (*expected value*). Nhìn chung, một giá trị đo lường bị ảnh hưởng bởi nhiều thông số, dẫn đến kết quả đo có thể không đúng như mong muốn. Có 3 loại sai số cơ bản: *sai số chủ quan*, *sai số hệ thống*, và *sai số ngẫu nhiên*.

*Sai số chủ quan* xảy ra *do lỗi của người sử dụng* thiết bị đo và phụ thuộc vào việc *đọc sai kết quả* hoặc *ghi kết quả không đúng theo quy trình* hoạt động của thiết bị đo.

*Sai số hệ thống* phụ thuộc vào *thiết bị đo, cũng như điều kiện môi trường*. Ngoài sai số chủ quan và sai số hệ thống thì sai số còn lại được *phân loại là sai số ngẫu nhiên*. Đối với *sai số ngẫu nhiên*, việc đánh giá cũng như phân tích được thực hiện dựa vào *phương pháp thống kê*.

*Các nguồn gây sai số:*

- Thiết bị đo được vận hành không đúng.
- Giá trị cần đo nằm ngoài vùng làm việc thiết kế của thiết bị đo.
- Thiết bị đo không được bảo trì, kiểm định định kỳ.
- Thiết bị đo hoạt động không ổn định hoặc độ ổn định kém.

*Một vài cách tính sai số.*

- *Sai số*

$$e = Y_n - X_n$$

$e$  : sai số

$Y_n$  : trị số tin cậy được

$X_n$  : trị số đo được

- Sai số tương đối (tính theo %)

$$e_r = \left| \frac{Y_n - X_n}{Y_n} \right| \times 100\%$$

- Độ chính xác tương đối

$$A = 1 - \left| \frac{Y_n - X_n}{Y_n} \right|$$

độ chính xác tính theo % :  $a = 100\% - e_r = A \times 100\%$

VD: Điện áp rơi trên điện trở có trị số tin cậy được là 50V. Khi dùng Volt kế thì điện áp đo được là 51V. Tính sai số tuyệt đối, và độ chính xác tương đối.

$$\text{Sai số tuyệt đối } |e_r| = |50 - 51| = 1 \text{ V}$$

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

$$\text{Độ chính xác tương đối } A = 1 - 0.02 = 0.98 \text{ hoặc } a = 100\% - 2\% = 98\%$$

- Tính chính xác của phép đo

$$1 - \left| \frac{X_n - \overline{X_n}}{\overline{X_n}} \right|$$

$\overline{X_n}$  trị số trung bình của  $n$  lần đo

VD: Xác định tính chính xác của phép đo, khi biết  $X_n = 97$ ,  $\overline{X_n} = 101.1$  (giá trị trung bình của 10 lần đo).

$$1 - \left| \frac{97 - 101.1}{101.1} \right| = 0.96$$

Vậy tính chính xác của phép đo lần thứ 10 là 96%.

*Phân tích thống kê trong đo lường.*

Lý thuyết thống kê được áp dụng để phân tích độ chính xác của một thiết bị đo hoặc phép đo thông qua những giá trị nhận được. Thông qua việc phân tích số liệu giá trị nhận được, ta có thể biết độ chính xác của phép đo hoặc của thiết bị đo và từ đó có thể đưa ra được những sự thay đổi/điều chỉnh để phép đo hoặc thiết bị đo đạt kết quả chính xác hơn trong tương lai.

- Trị số trung bình

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

$\overline{x}$ : trị số trung bình,  $x_n$ : trị số của lần đo thứ  $n$

- Độ lệch

$$d_n = x_n - \overline{x}$$

- Độ lệch trung bình

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

- Độ lệch chuẩn (Standard deviation)

+ Nếu số lần đo lớn hơn hoặc bằng 30 ( $n \geq 30$ )

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

+ Nếu số lần đo *nhỏ hơn 30* ( $n < 30$ )

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

- Sai số ngẫu nhiên

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

**VD:** Kết quả đo chiều dài của một chi tiết cơ khí, được thực hiện trong 8 lần đo như sau: 116,2mm; 118,2mm; 116,5mm; 117,0mm; 118,2mm; 118,4mm; 117,8mm; 118,1mm  
 Tính độ lệch trung bình và độ lệch chuẩn của các lần đo.

**Giải**

$$\bar{x} = \frac{116,2 + 118,2 + 116,5 + 117,0 + 118,2 + 118,4 + 117,8 + 118,1}{8} = 117,6 \text{ (mm)}$$

<i>TT</i>	<i>Giá trị đo</i>	<i>Độ lệch (d<sub>i</sub>)</i>
1	116,2	-1,4
2	118,2	0,6
3	116,5	-1,1
4	117,0	-0,6
5	118,2	0,6
6	118,4	0,8
7	117,8	0,2
8	118,1	0,5

$$D = \frac{|-1,4| + |0,6| + \dots + |0,5|}{8} = 0,7 \text{ (mm)}$$

$$\sigma = \sqrt{\frac{(-1,4)^2 + (0,6)^2 + \dots + (0,5)^2}{8-1}} = 0,86 \text{ (mm)}$$

**VD:** Một Volt kế được kiểm định bằng cách đo một nguồn chuẩn trong nhiều trường hợp khác nhau, giá trị đo được như sau: 14,35V; 15,10V; 15,45V; 14,75V; 14,85V; 16,10V; 15,85V; 15,10V; 14,45V; 15,20V. Xác định độ lệch trung bình, độ lệch chuẩn và sai số ngẫu nhiên. Từ các kết quả trên, hãy đưa ra kết luận về độ chính xác của Volt kế.

**Giải**

$$\bar{x} = \frac{14,35 + 15,10 + \dots + 15,20}{10} = 15,12 \text{ V}$$

<i>TT</i>	<i>Giá trị đo</i>	<i>Độ lệch (d<sub>i</sub>)</i>
1	14,35	-0,77
2	15,10	-0,02
3	15,45	0,33
4	14,75	-0,37
5	14,85	-0,27
6	16,10	0,98
7	15,85	0,73
8	15,10	-0,02
9	14,45	-0,67
10	15,20	0,08

$$D = \frac{|-0,77| + |-0,02| + \dots + |0,08|}{10} = 0,42 \text{ (V)}$$

$$\sigma = \sqrt{\frac{(-0,77)^2 + (0,02)^2 + \dots + (0,08)^2}{10 - 1}} = 0,56 \text{ (V)}$$

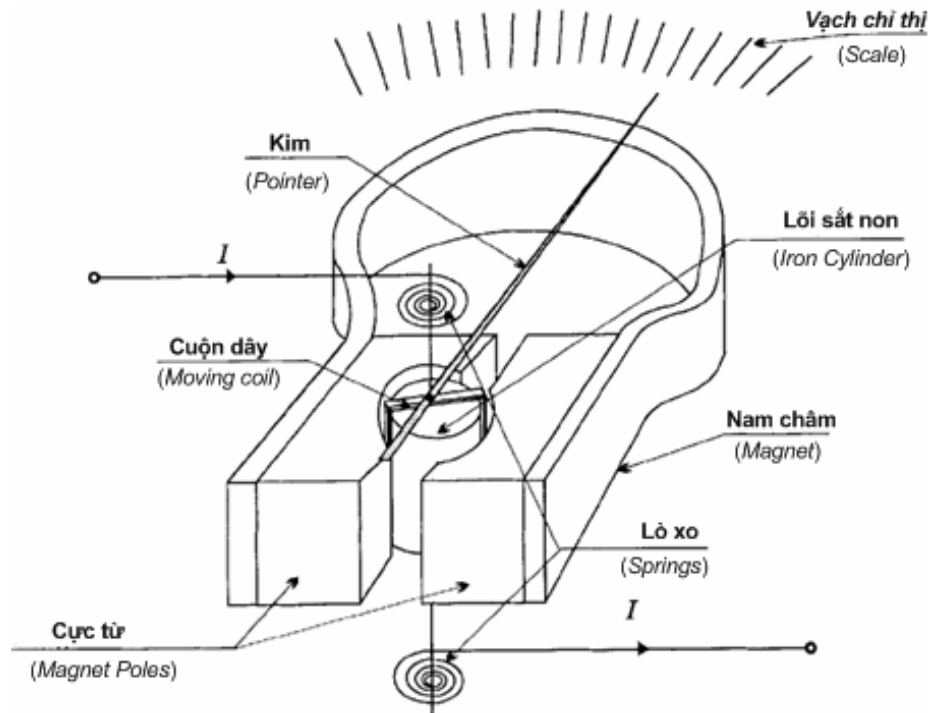
$$e_{Rd} = \frac{2}{3} \sqrt{\frac{(-0,77)^2 + (-0,22)^2 + \dots + (0,08)^2}{10(10 - 1)}} = 0,12 \text{ (V)}$$



## CHƯƠNG 2. CÁC CƠ CẤU ĐO LƯỜNG (4,0,0)

### 2.1 Cơ cấu chỉ thị kim

#### 1. Cơ cấu từ điện



Hình 2.1. Cơ cấu từ điện

**Nguyên lý hoạt động:** Khi có dòng điện đi vào cuộn dây trên khung quay sẽ tạo ra lực từ trường là dịch chuyển kim. Cơ cấu từ điện chỉ hoạt động với dòng điện một chiều (DC).

#### **Ưu điểm:**

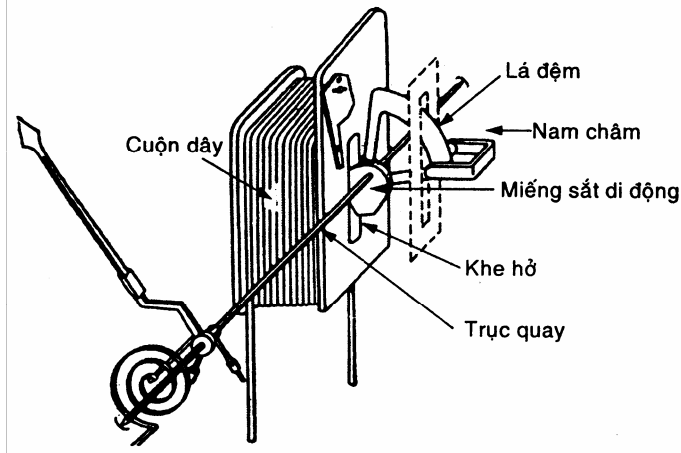
- Từ trường của nam châm vĩnh cửu do cơ cấu đo tạo ra mạnh nên ít bị ảnh hưởng của từ trường bên ngoài.
- Công suất tiêu thụ nhỏ, từ  $25\mu\text{W}$  ÷  $200\mu\text{W}$ .
- Độ chính xác cao, có thể đạt được độ chính xác 0.5%.
- Có góc quay tuyến tính theo dòng điện nên thang đo có khoảng chia đều.

#### **Khuyết điểm:**

- Cuộn dây của khung quay có dòng chịu đựng nhỏ nên dễ bị hỏng khi có dòng điện quá mức chạy qua.
- Chỉ hoạt động với dòng một chiều (DC), không hoạt động với dòng xoay chiều (AC).
- Khung quay dễ bị hư hỏng khi có chấn động mạnh, vì vậy phải sử dụng cẩn thận và tránh làm rớt, hoặc va đập mạnh.

#### **Ứng dụng:**

## 2. Cơ cấu điện từ



Hình 2.2. Cơ cấu điện từ

**Nguyên lý hoạt động:** Cấu tạo cơ bản gồm một cuộn dây cố định và miếng sắt di động (*moving iron*) gắn trên trục quay mang kim chỉ thị.

**Ưu điểm:**

- Công nghệ chế tạo dễ hơn cơ cấu từ điện.
- Chịu được dòng lớn.
- Có thể hoạt động với dòng DC hoặc AC.

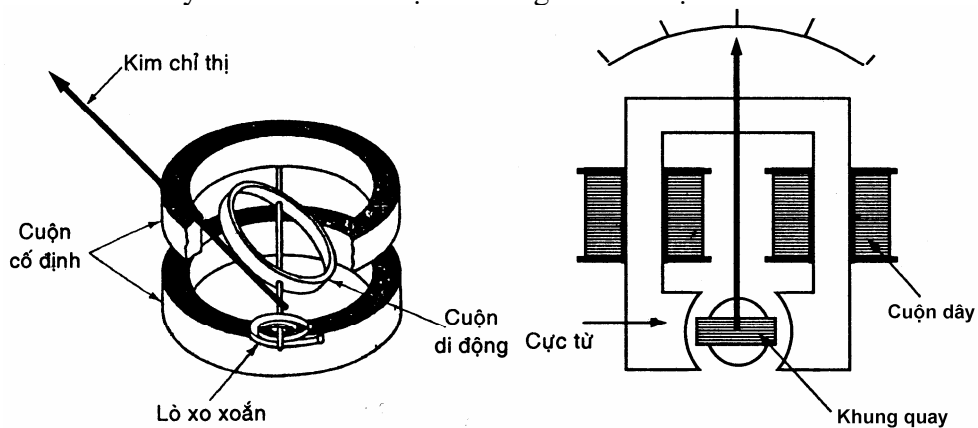
**Khuyết điểm:**

- Từ trường tạo ra bởi cuộn dây nhỏ nên dễ bị ảnh hưởng bởi từ trường bên ngoài. Do vậy cơ cấu điện từ cần phải có bộ phận *chắn từ* để bảo vệ.
- Tiêu thụ năng lượng nhiều hơn cơ cấu từ điện.
- Độ chính xác kém hơn cơ cấu từ điện do có hiện tượng từ dư trong lá sắt non.
- Thường chỉ được dùng trong lĩnh vực công nghiệp.

**Ứng dụng:**

## 3. Cơ cấu điện động

Đây là cơ cấu có sự phối hợp giữa cơ cấu *điện từ* (*khung quay mang kim chỉ thị*) và cơ cấu *từ điện* (*cuộn dây cố định tạo từ trường cho khung quay*). Do vậy, cơ cấu này mang những ưu điểm và khuyết của cơ cấu điện từ cũng như từ điện.



Hình 2.3. Cơ cấu điện động

## 2.2 Thiết bị chỉ thị số

Thiết bị chỉ thị số bao gồm nhiều khối chức năng bên trong, nhiệm vụ chính là hiển thị thông tin đo được theo yêu cầu, có thể theo dạng số (digital) hoặc dạng tương tự (analog). *Hình 2.4* trình bày sơ đồ khối tổng quát của một thiết bị đo chỉ số.



**Hình 2.4.** Sơ đồ khối thiết bị chỉ thị số

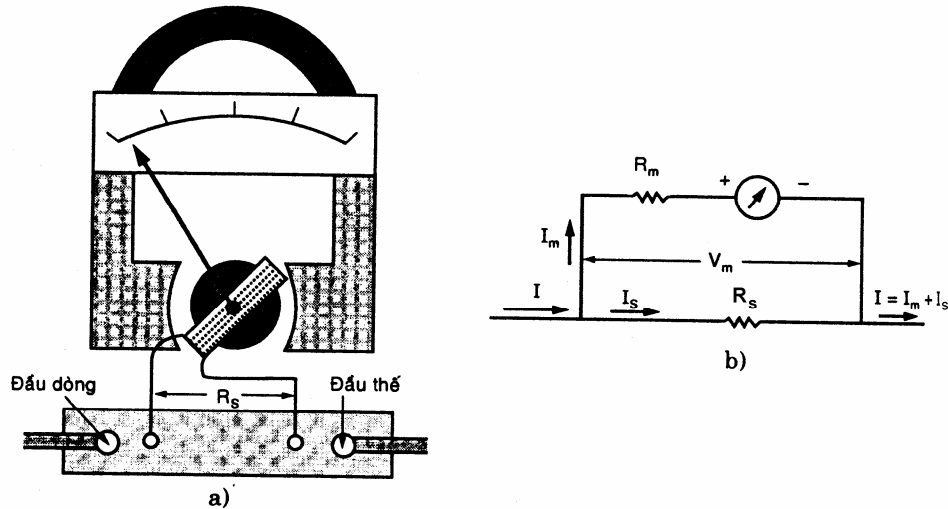
Khối xử lý tín hiệu đầu vào có nhiệm vụ *biến đổi thông tin cần đo* thành *tín hiệu số*. Sau đó, tín hiệu được *tính toán* và *hiển thị thông tin* đo được, kết quả *hiển thị* có thể ở dạng *số* hoặc *tương tự*.

### CHƯƠNG 3. ĐO DÒNG ĐIỆN VÀ ĐIỆN ÁP (6,2,0)

#### 3.1 Đo dòng một chiều (DC) – dòng xoay chiều (AC)

##### 1. Đo dòng DC

Tất cả cơ cấu chỉ thị kim đều có khả năng đo trực tiếp dòng DC nhưng chỉ đo được những giá trị nhỏ. Do vậy, ta phải mở rộng tầm đo để có thể đo được dòng điện có giá trị lớn hơn.



Hình 3.1. Mạch đo dòng

Để mở rộng tầm đo của cơ cấu từ điện, thông thường người ta sử dụng *một điện trở phụ*, được gọi là điện trở *shunt*  $R_s$ , được mắc như trong *hình 3.1.b*.

Dòng điện cần đo:

$$I = I_m + I_s$$

Trong đó :

$I_m$  : dòng qua cơ cấu chỉ thị

$I_s$  : dòng qua điện trở shunt

Điện trở shunt,  $R_s$ , được xác định qua công thức sau:

$$R_s = \frac{I_{\max} \times R_m}{I_t - I_{\max}}$$

Trong đó :

$I_{\max}$  : dòng cực đại của cơ cấu chỉ thị

$I_t$  : dòng tối đa của tầm đo

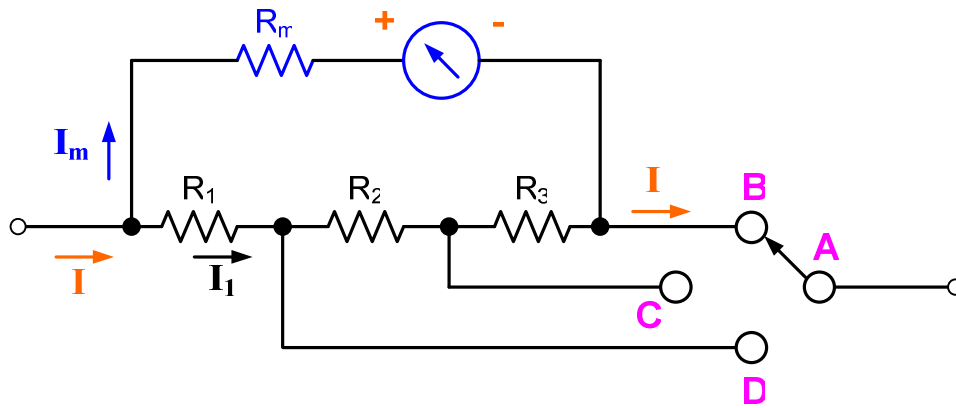
$R_m$ : nội trở của cơ cấu chỉ thị

VD: Xác định giá trị của  $R_s$  trong mạch hình 3.1.b. Biết rằng, cần đo dòng DC với giá trị là  $1mA$ , dòng chịu đựng tối đa và nội trở của cơ cấu đo tương ứng là  $50\mu A$  và  $1k\Omega$ .

**Giải**

Ta có :  $I_t = 1mA$ ,  $I_{\max} = 50\mu A$ ,  $R_m = 1k\Omega$ .

$$\text{Vậy } R_s = \frac{50.10^{-6} \times 10^3}{1mA - 50\mu A} = \frac{50.10^{-3}}{950.10^{-6}} = \frac{5}{95} \times 10^3 = 52,6 (\Omega)$$



Hình 3.2. Mạch đo dòng có nhiều tầm đo

**VD:** Xác định giá trị  $R_1$ ,  $R_2$ ,  $R_3$  trong mạch hình 3.2. Biết rằng, cần đo dòng DC với giá trị là  $1mA$ ,  $10mA$ ,  $100mA$  tương ứng với vị trí B, C và D. Dòng chịu đựng tối đa ( $I_{max}$ ) và nội trở của cơ cấu đo ( $R_m$ ) tương ứng là  $50\mu A$  và  $1k\Omega$ .

**Giải**

+ Tại vị trí B ( $1mA$ )

$$R_1 + R_2 + R_3 = \frac{50 \cdot 10^{-3}}{950 \cdot 10^{-6}} = 52,6 \Omega \quad (1)$$

+ Tại vị trí C ( $10mA$ )

$$R_1 + R_2 = \frac{(1k\Omega + R_3)50 \cdot 10^{-6}}{9950 \cdot 10^{-6}} = \frac{(1k\Omega + R_3)}{199} \quad (2)$$

+ Tại vị trí D ( $100mA$ )

$$R_1 = \frac{(1k\Omega + R_2 + R_3)50 \cdot 10^{-6}}{99950 \cdot 10^{-6}} = \frac{1k\Omega + R_2 + R_3}{1999} \quad (3)$$

$$\text{Từ (1)} \Rightarrow R_1 + R_2 = 52,6 - R_3 \quad (4)$$

$$\text{Từ (2) và (4)} \Rightarrow \frac{1k\Omega + R_3}{199} = 52,6 - R_3$$

$$\Rightarrow R_3 = \frac{10467,4 - 1000}{200} = 47,337 (\Omega)$$

$$\text{Từ (1)} \Rightarrow R_2 + R_3 = 52,6 - R_1 \quad (5)$$

$$\text{Thế (5) vào (3): } R_1 = \frac{1000 - 52,6 - R_1}{1999} = \frac{1052,6}{2000} = 0,526 (\Omega)$$

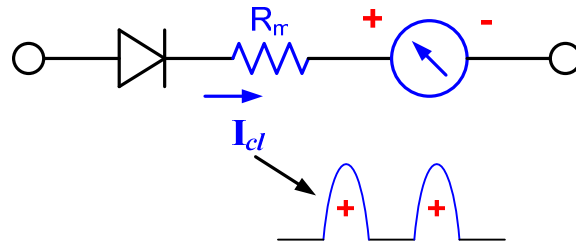
$$R_2 = 52,6 - (47,337 + 0,526) = 4,737 (\Omega)$$

$$\text{Vậy } R_1 = 0,526 (\Omega); R_2 = 4,737 (\Omega); R_3 = 47,337 (\Omega)$$

## 2. Đo dòng AC

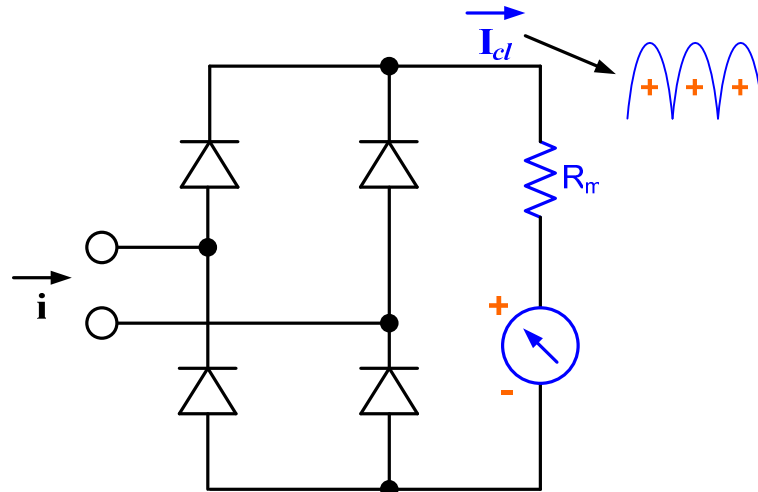
Cơ cấu *điện từ* và cơ cấu *điện động* đều hoạt động được với dòng AC. Cơ cấu *từ điện* không thể hoạt động trực tiếp với dòng AC, do đó dòng AC cần phải được biến đổi thành dòng DC. Trị trung bình của dòng điện:

$$I_{cltb} = \frac{1}{T} \int_0^T i_{cl} dt \leq I_{max}$$



**Hình 3.3.** Dòng chỉnh lưu (bán kỳ) qua cơ cấu

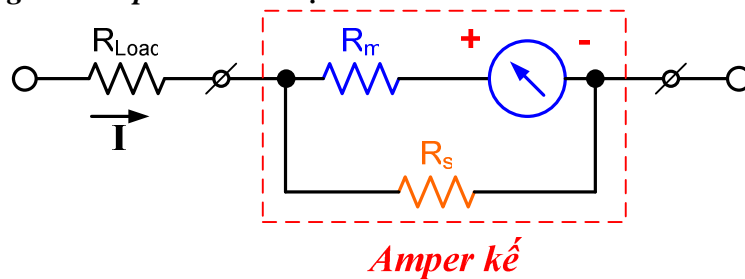
Đối dòng AC :  $i = I_m \sin \omega t$  thì  $I_{cltb} = 0,318 I_m = 0,318 \sqrt{2} I_{hd}$



**Hình 3.4.** Dòng chỉnh lưu (toàn kỳ) qua cơ cấu

Đối dòng AC :  $i = I_m \sin \omega t$  qua chỉnh lưu toàn cầu thì  $I_{cltb} = 0,636 I_m = 0,636 \sqrt{2} I_{hd}$

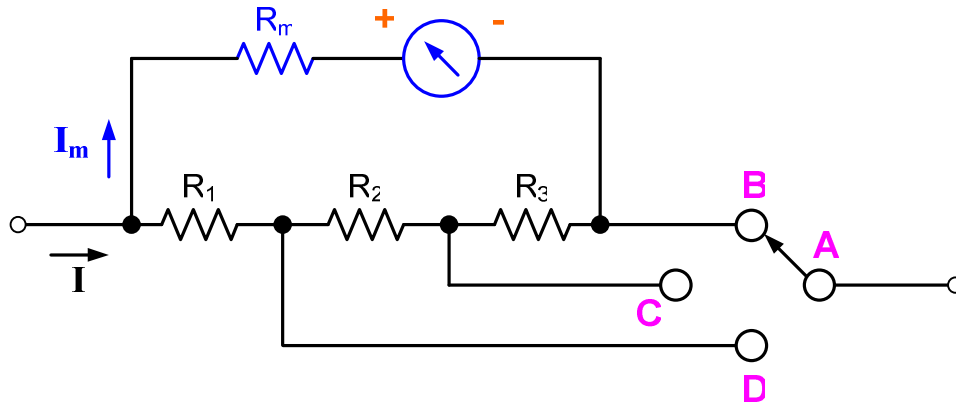
**3. Ảnh hưởng của Amper kế đến mạch đo**



**Hình 3.5.** Cách mắc Amper kế đo dòng

Nói chung, nội trở của Amper kế thay đổi theo thang đo. Thang đo càng lớn thì nội trở càng nhỏ và ngược lại. Nếu *nội trở* của Amper kế *rất nhỏ* so với điện trở tải  $R_{Load}$  thì *sai số* do ảnh hưởng của Amper kế trở nên không đáng kể.

VD: Xác định giá trị của các thang đo tại điểm **B**, **C** và **D** hình 3.6. Biết rằng,  $R_1 = 0,05 \Omega$ ,  $R_2 = 0,45 \Omega$ ,  $R_3 = 4,5 \Omega$ . Dòng chịu đựng tối đa ( $I_{max}$ ) và nội trở của cơ cấu đo ( $R_m$ ) tương ứng là  $50 \mu A$  và  $1k \Omega$ .



Hình 3.6.

*Giải*

+ Tại vị trí B

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

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

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

+ Tại vị trí C

$$V_s = I_{\max} \times (R_m + R_3) = 50\mu A \times (1k\Omega + 4,5\Omega) \approx 50mV$$

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

$$\text{Vì } I_s \gg I_m \text{ nên } I = I_s = 100mA$$

+ Tại vị trí D

$$V_s = I_{\max} \times (R_m + R_3 + R_2) = 50\mu A \times (1k\Omega + 4,5\Omega + 0,45\Omega) \approx 50mV$$

$$I_s = \frac{V_s}{R_1} = \frac{50mV}{0,05\Omega} = 1A$$

$$\text{Vì } I_s \gg I_m \text{ nên } I = I_s = 1A$$

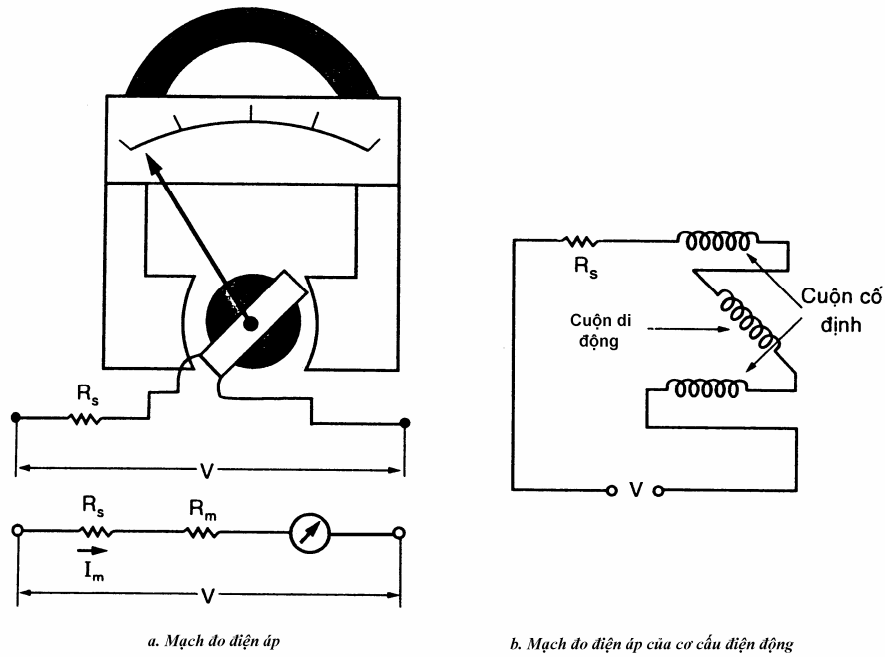
### 3.2 Đo điện áp DC – AC

#### 1. Đo điện áp DC

Nguyên lý chung của *đo điện áp* là *chuyển điện áp* cần đo thành *giá trị dòng điện* đi qua *cơ cấu đo*.

$$I_{do} = \frac{V_{do}}{R + R_m} \leq I_{\max}$$

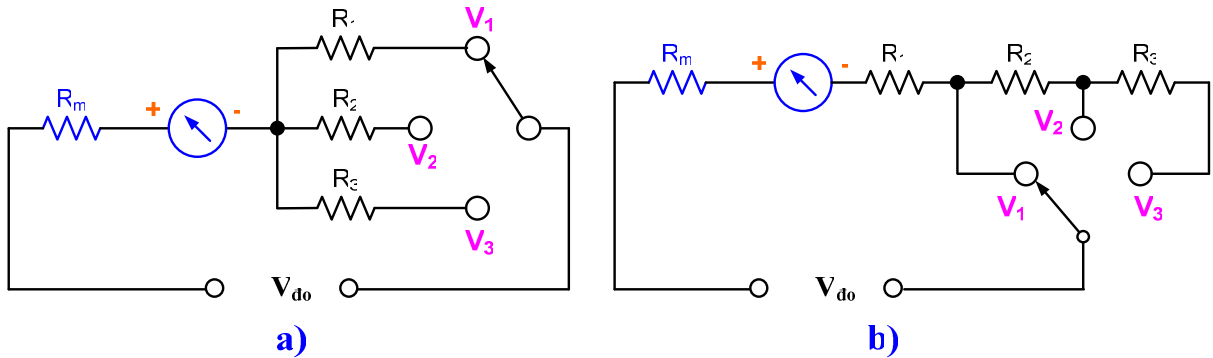
Cơ cấu *từ điện*, *điện từ* và *điện động* đều được dùng làm *Volt kế DC*. Điện trở  $R_s$  được nối vào để *hạn dòng* chạy qua cơ cấu đo. Mạch đo điện áp được minh họa ở *hình 3.7*.



**Hình 3.7.** Mạch đo điện áp

Tổng trở vào của Volt kế là :  $Z_v = R_s + R_m$

Để mở rộng tầm đo (đo được những giá trị điện áp khác nhau), cách thông thường là *nối tiếp với cơ cấu đo những điện trở có giá trị thích hợp*. Tổng trở của Volt kế sẽ thay đổi theo tầm đo, tổng trở càng lớn thì giá trị của tầm đo điện áp càng cao và ngược lại.



**Hình 3.8.** Mạch mở rộng tầm đo điện áp DC

**VD:** Tính giá trị của điện trở  $R_1, R_2, R_3$  trong hình 3.8.b. Biết rằng,  $V_1 = 2,5V$ ;  $V_2 = 10V$  và  $V_3 = 50V$ . Cơ cấu từ điện có  $I_{max} = 100\mu A$ ,  $R_m = 0,5k\Omega$ .

**Giải**

+ Tại  $V_1$  (2,5V):

$$R_m + R_1 = \frac{V_1}{I_{max}} \Rightarrow R_1 = \frac{V_1}{I_{max}} - R_m = \frac{2,5V}{100\mu A} - 0,5k\Omega = 24,5k\Omega$$

+ Tại  $V_2$  (10V):

$$R_2 = \frac{V_2 - V_1}{I_{max}} = \frac{7,5V}{100\mu A} = 75k\Omega$$

+ Tại  $V_3$  (50V):

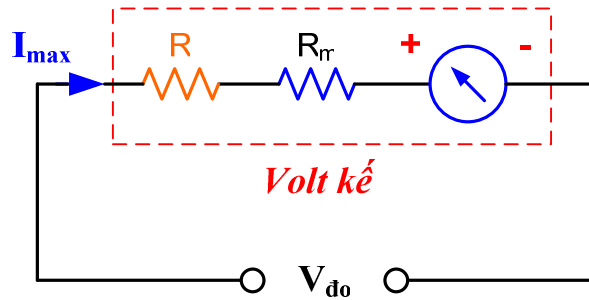
$$R_3 = \frac{V_3 - V_2}{I_{max}} = \frac{40V}{100\mu A} = 400k\Omega$$



**VD:** Một Volt kế có tầm đo  $0V-300V$ ,  $I_{max} = 50mA$ , xác định giá trị và công suất tiêu tán điện trở ( $R$ ) nối tiếp với cơ cấu đo của Volt kế đó, biết rằng cơ cấu đo có nội trở là  $100\Omega$ .

**Giải**

Ta có :

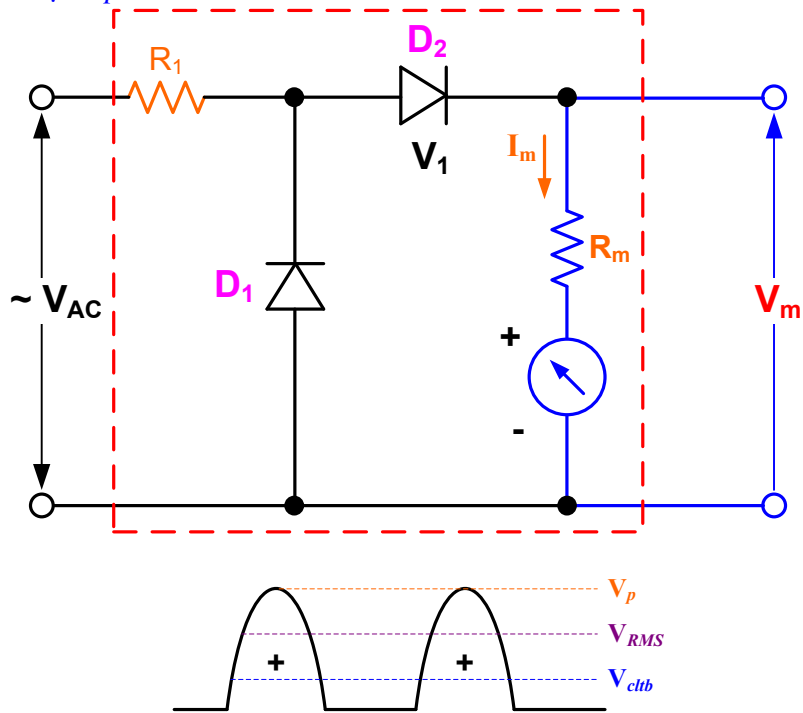


$$R + R_m = \frac{300}{50mA} \Rightarrow R = \frac{300}{50mA} - R_m = 6k\Omega - 0,1k\Omega = 5,9k\Omega$$

$$P_R = RI^2 = 5,9k\Omega \times (50mA)^2 = 14,75W$$

## 2. Đo điện áp AC

Nguyên tắc: Đối với cơ cấu từ điện, điện áp AC được chuyển thành DC rồi áp dụng phương pháp đo điện áp DC.



**Hình 3.9.** Mạch đo điện áp AC

Ta có:

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

$$I_{ctb} = I_{max} = 0,318\sqrt{2} I_{hd}$$

**VD:** Xác định  $R_1$ , biết rằng  $R_m=1k\Omega$ ,  $I_{max}=50\mu A$ , tầm đo  $V_{AC} = 20V (RMS)$ ,  $V_D=0,7V (RMS)$ .

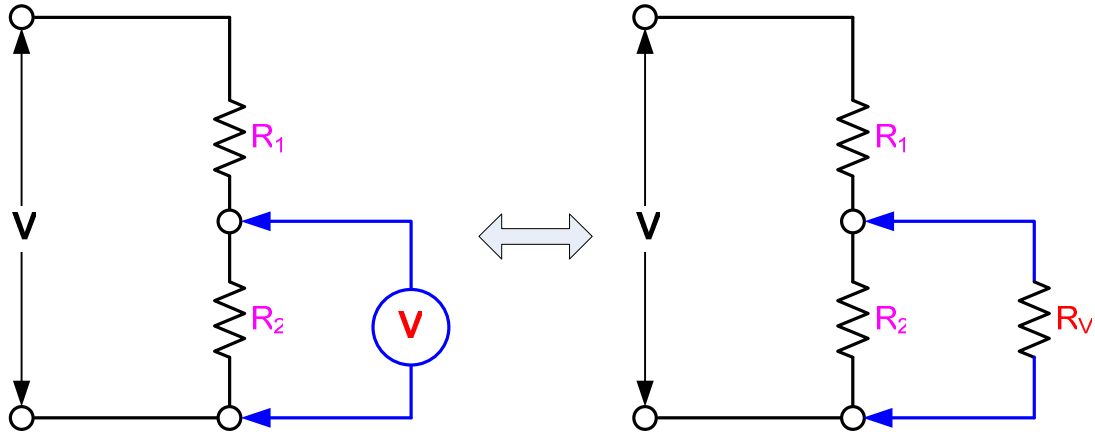
**Giải**

$$R_1 + R_m = \frac{V_{AC}(RMS) - V_D(RMS)}{I_{max} / (0,314\sqrt{2})} = \frac{20 - 0,7}{50\mu A / 0,444} = 171,39k\Omega$$

$$R_1 = 171,39k\Omega - 1k\Omega = 170,39k\Omega$$

### 3. Ảnh hưởng của Volt kế đến mạch đo

Khi Volt kế được mắc vào phần tử cần đo điện áp, giá trị điện áp đo được sẽ bị ảnh hưởng do nội trở của Volt kế. Nếu tổng trở của Volt kế càng lớn thì sai số của giá trị đo càng nhỏ và ngược lại.



**Hình 3.10.** Mạch tương đương khi mắc Volt kế

**VD:** Xác định sai số do ảnh hưởng của Volt kế. Biết  $V = 20V$ ,  $R_1 = R_2 = 10k\Omega$ ,  $R_v = 250k\Omega$ .

**Giải**

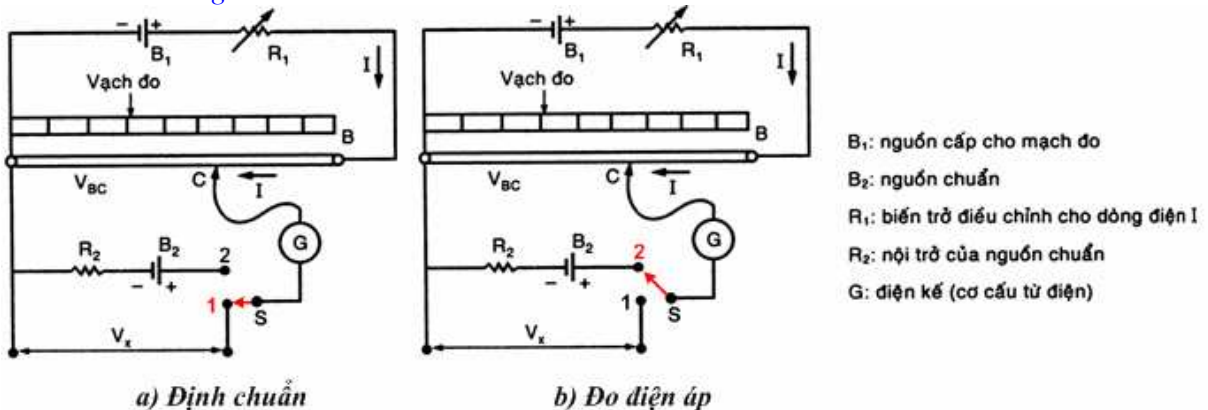
Điện áp trên  $R_2$ :  $V_{R_2} = \frac{V \times R_2}{R_1 + R_2} = \frac{20 \times 10k\Omega}{20k\Omega} = 10V$

Chỉ số Volt kế:  $V'_{R_2} = \frac{V \times (R_2 // R_v)}{R_1 + (R_2 // R_v)} = \frac{20 \times \frac{125}{13}}{10 + \frac{125}{13}} = \frac{500}{51} = 9,804V$

Sai số do ảnh hưởng của Volt kế:  $\left[ 1 - \frac{9,804}{10} \right] \times 100\% = 1,96\%$

### 3.3 Đo điện áp DC bằng biến trở

Điện áp DC có thể được đo bằng cách dùng một biến trở chuyên dùng được gọi là biến trở đo lường.



**Hình 3.11.** Mạch đo điện áp bằng biến trở

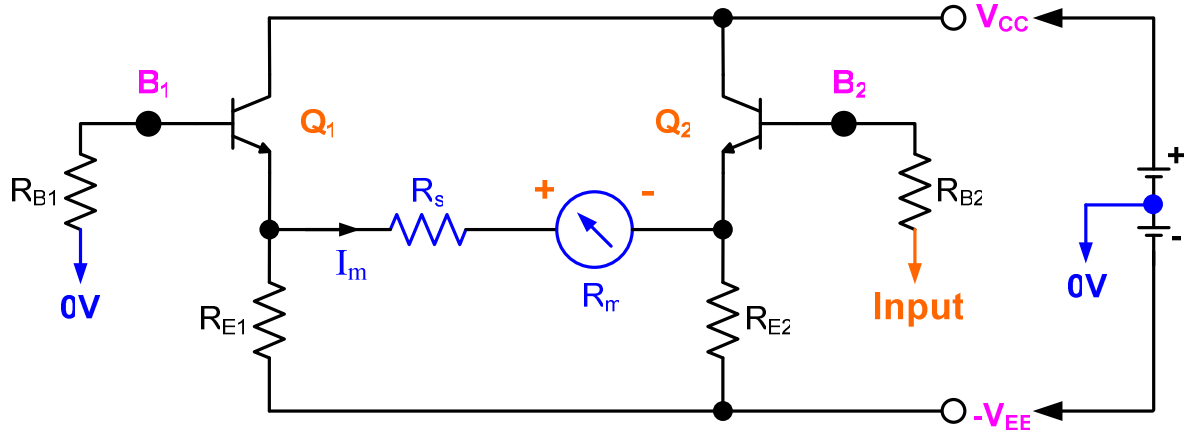
+ Định chuẩn: Ban đầu *công tắc S* được để ở *vị trí 1*, biến trở  $R_1$  và *vị trí của con chạy C* của biến trở đo lường được điều chỉnh sao cho *kim của điện kế chỉ số "0"* và *vị trí của con chạy C ở vị trí chuẩn (ở vạch "0")*.

+ Đo điện áp: *Công tắc S* được chuyển sang *vị trí 2*, *con chạy C* được thay đổi sao cho dòng qua điện kế chỉ "0". Lúc này, giá trị của áp đo được hiển trị trên vạch, tương ứng với vị trí của con chạy C.

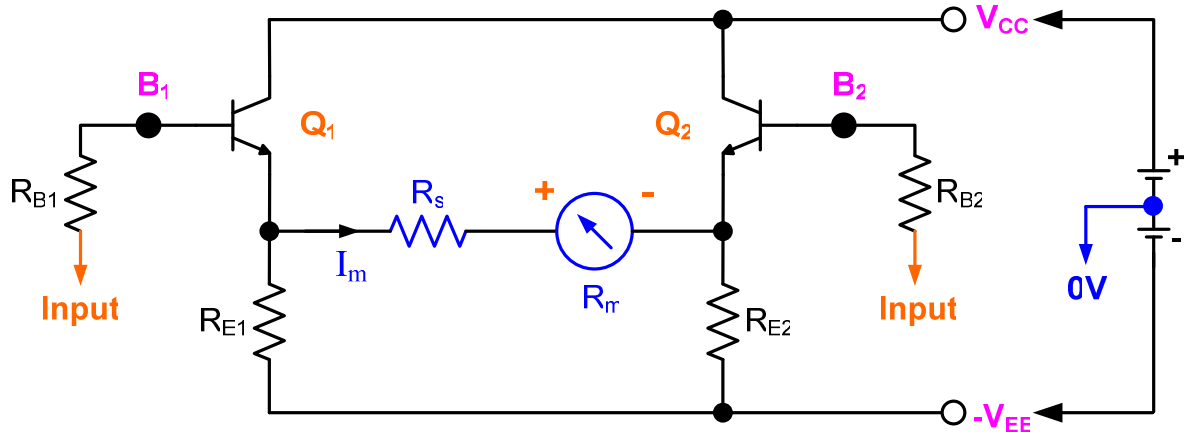
Ưu điểm lớn nhất của phương pháp đo này là không bị ảnh hưởng *nội trở của nguồn cần đo  $V_x$* .

### 3.4 Volt kế điện tử DC

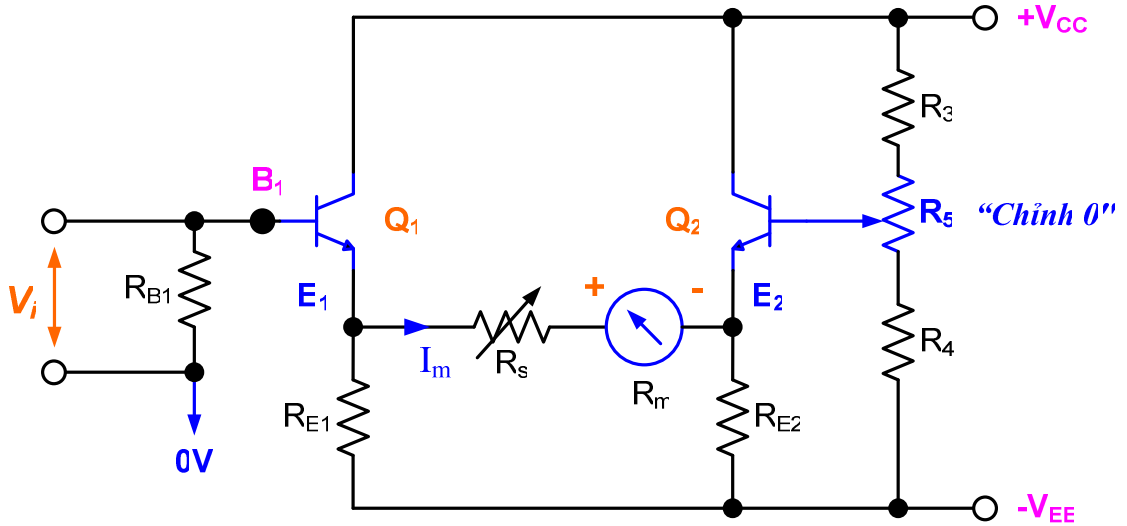
#### 1. Đo điện áp DC dùng Transistor



Hình 3.12. Mạch đo điện áp DC dùng BJT (ngõ vào đơn cực)

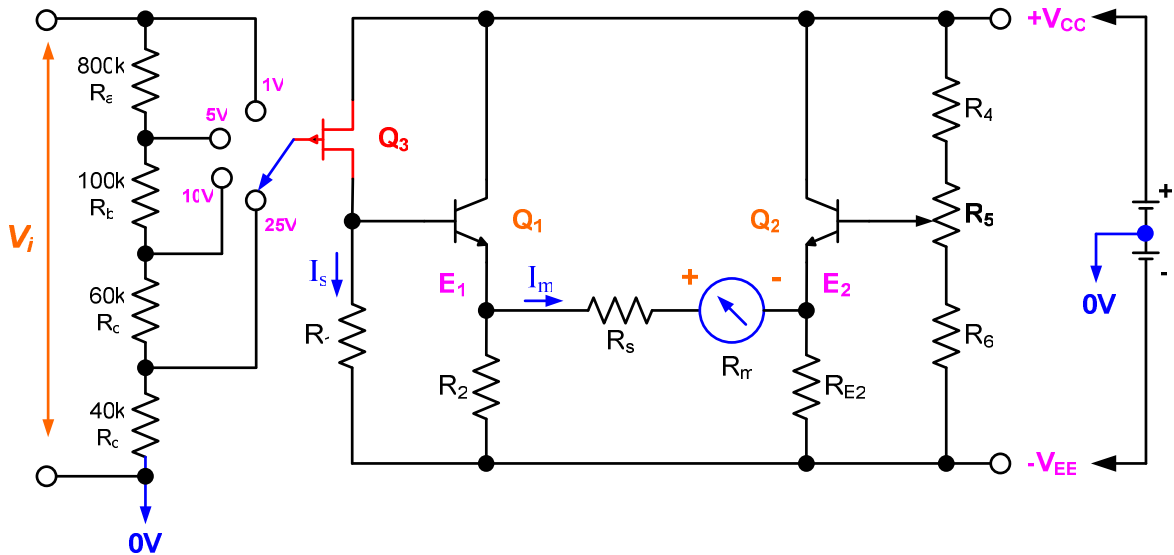


Hình 3.13. Mạch đo điện áp DC dùng BJT (ngõ vào vi sai)



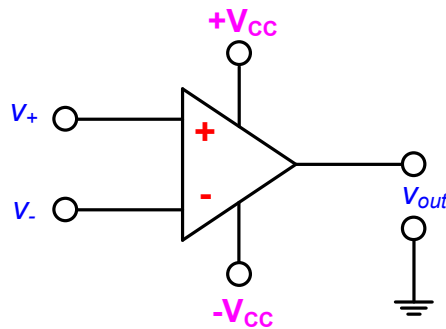
Hình 3.14. Mạch đo điện áp có biến trở chỉnh "0"

2. Đo điện áp DC dùng FET



Hình 3.15. Mạch đo điện áp DC có tầng ngõ vào JFET

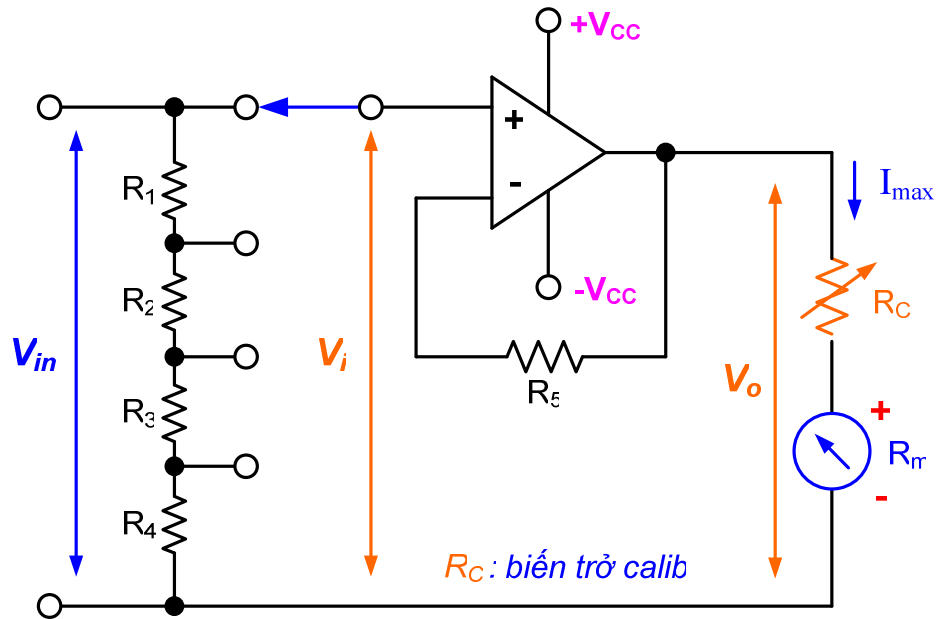
3. Đo điện áp DC dùng khuếch đại thuật toán (Op-amp)



Hình 3.16. Ký hiệu mạch của Op-amp

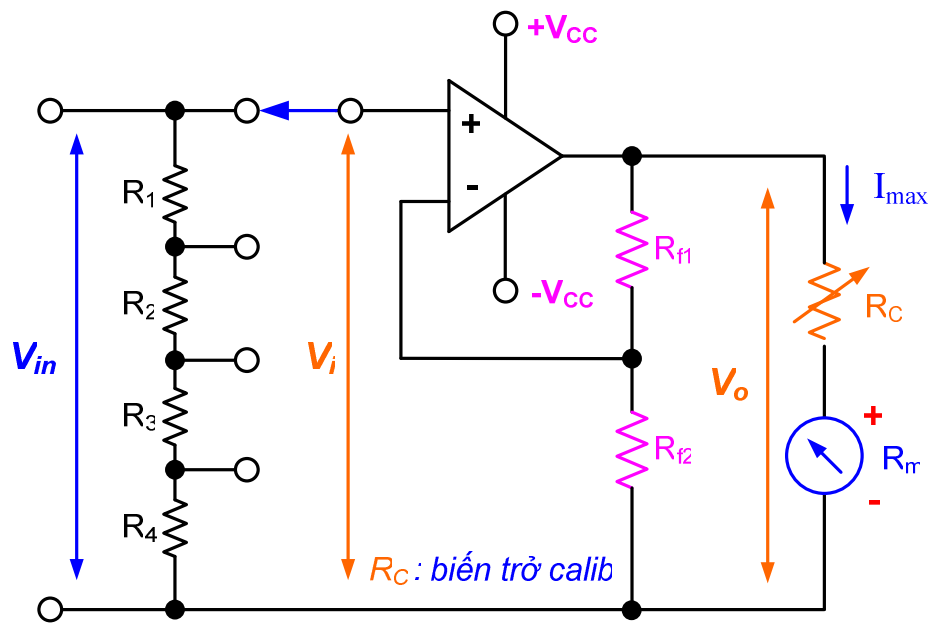
Các bước phân tích mạch có chứa Op-amp

- Viết phương trình Kirchhoff (KCL) tại nút của ngõ vào đảo  $v_-$  và ngõ vào không đảo  $v_+$ .
- Cho  $v_- = v_+$



**Hình 3.17.** Mạch đo điện áp DC dùng Op-amp có hệ số khuếch đại bằng 1

Hệ số khuếch đại :  $\frac{V_o}{V_i} = 1$

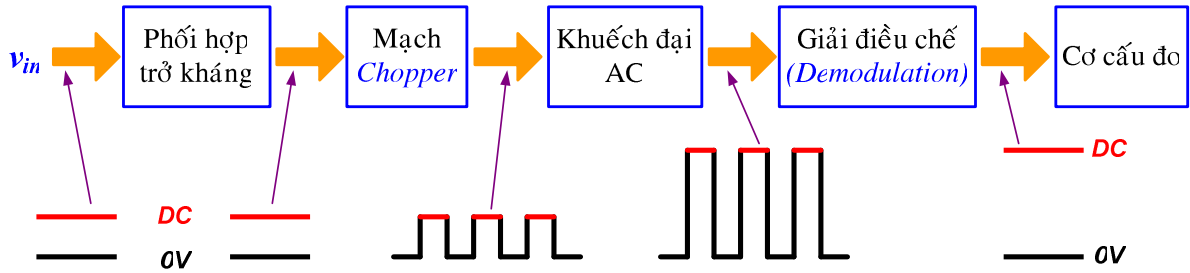


**Hình 3.18.** Mạch đo điện áp DC dùng cho tín hiệu nhỏ

Hệ số khuếch đại :  $\frac{V_o}{V_i} = \left(1 + \frac{R_{f1}}{R_{f2}}\right)$

**4. Đo điện áp DC giá trị nhỏ dùng phương pháp “Chopper”**

Đối với điện áp **DC có giá trị nhỏ**, khoảng vài **mV**, việc đo trực tiếp gặp nhiều khó khăn và sai số lớn. Do vậy, phương pháp **Chopper** được sử dụng để đo điện áp DC có giá trị nhỏ, sơ đồ khối được mô tả sau đây:



Hình 3.19. Sơ đồ khối mạch đo điện áp DC sử dụng phương pháp Chopper

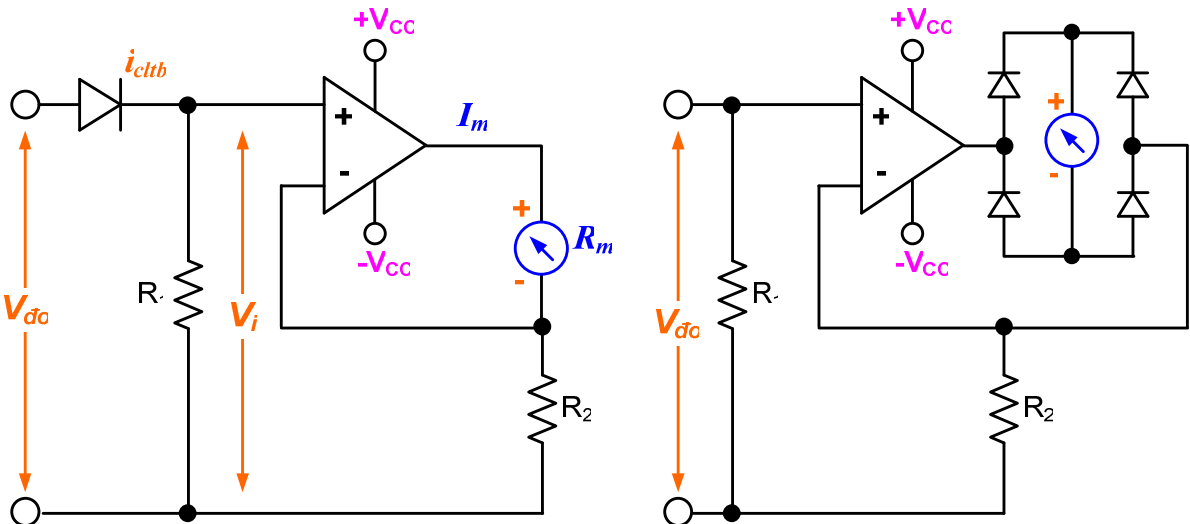
### 3.5 Volt kế điện tử AC

#### 1. Khái quát

Để đo điện áp AC, chúng ta cần chuyển sang điện áp DC, có 3 phương pháp thường được sử dụng:

- Chỉnh lưu diode
- Trị hiệu dụng thực (True RMS)
- Trị đỉnh

#### 2. Phương pháp chỉnh lưu diode



a) Chỉnh lưu trước khi khuếch đại

b) Khuếch đại chuyển từ áp sang dòng có cầu chỉnh lưu

Hình 3.20. Đo điện áp AC sử dụng phương pháp chỉnh lưu trung bình

Ta có:

$$V_i = i_{cltb} R_1$$

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

Trong đó:  $i_{cltb}$  được tính như phần *đo điện áp AC dùng phương pháp chỉnh lưu*.

#### 3. Phương pháp trị hiệu dụng thực

Giá trị *hiệu dụng* của điện áp  $v_{in}(t)$  được tính:

$$V_{hd}(RMS) = \sqrt{\frac{1}{T} \int_0^T [v_{in}(t)]^2 dt}$$

Sơ đồ khối của phương pháp được mô tả ở hình 3.21.



Hình 3.21. Đo điện áp AC sử dụng phương pháp trị hiệu dụng thực

4. Phương pháp trị đỉnh

Điện áp AC cần đo được biến đổi thành điện áp DC, giá trị của điện áp DC bằng giá trị đỉnh của điện áp AC. Sơ đồ khối được tóm tắt trong hình 3.22.

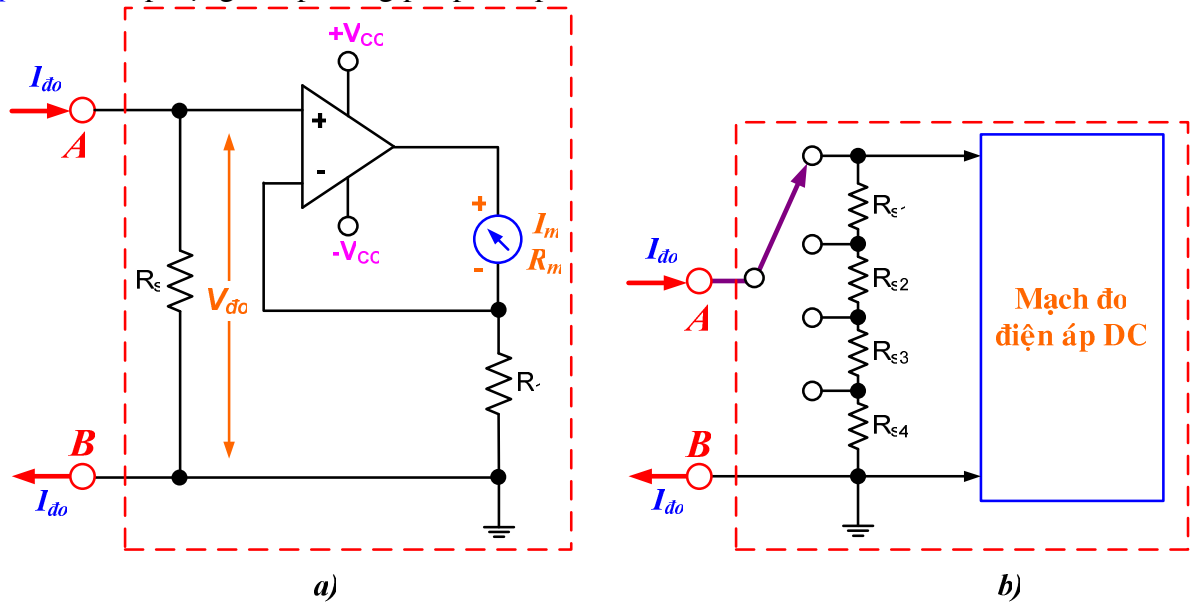


Hình 3.22. Đo điện áp AC sử dụng phương pháp trị giá trị đỉnh

3.6 Amper kế điện tử đo DC-AC

1. Đo dòng DC

Nguyên lý đo dòng DC sử dụng Amper kế điện tử là chuyển dòng điện thành điện áp, sau đó áp dụng các phương pháp đo áp DC.



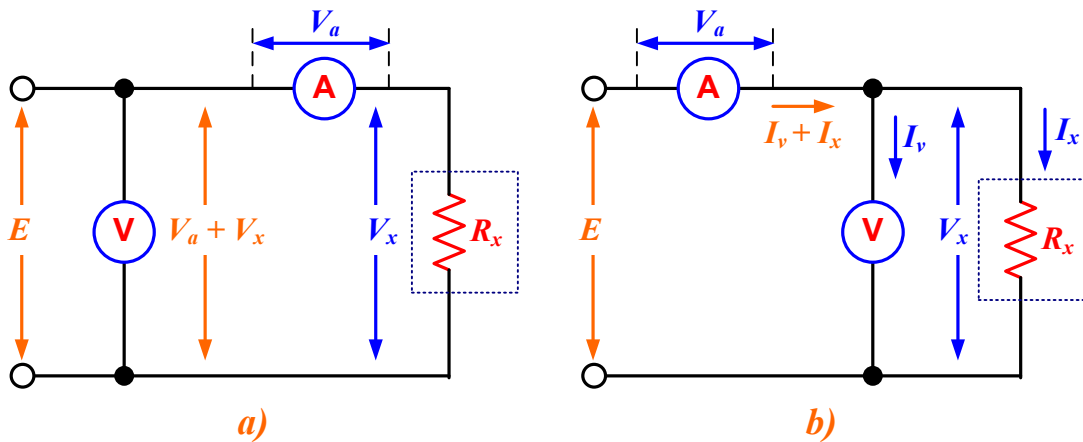
Hình 3.23. Mạch đo dòng DC

2. Đo dòng AC

Dòng AC được chuyển sang dòng DC, sau đó áp dụng phương pháp đo dòng DC.

**CHƯƠNG 4. ĐO ĐIỆN TRỞ (4,1,0)**

**4.1. Đo điện trở bằng Volt kế và Amper kế**



**Hình 4.1.** Mạch đo điện trở  $R_x$

Đối với hình 4.1.a, giá trị điện trở  $R_x$  được tính:

$$R_x = \frac{V_x}{I_x}$$

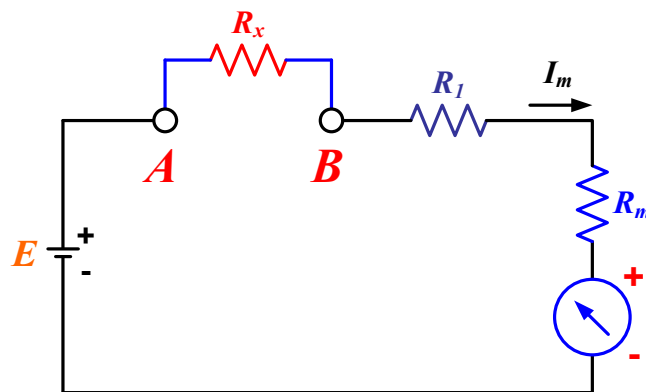
Trong đó:  $I_x$  - chỉ số của Amper kế

Nếu *nội trở* của Amper kế *rất nhỏ* so với  $R_x$  thì ta có thể lấy  $V_x = V$  ( $V$  là chỉ số của Volt kế). Công thức tính  $R_x$  có thể được viết lại như sau:

$$R_x = \frac{V}{I} \tag{4-1}$$

Tương tự đối với hình 4.1.b, ta cũng có kết quả tính  $R_x$  theo công thức (4-1)

**4.2. Mạch đo R trong Ohm kế**



**Hình 4.2.** Mạch Ohm kế

Trong đó :  $R_1$  – điện trở chuẩn của *tâm đo*

- Khi  $R_x \rightarrow 0\Omega \Rightarrow I_m \rightarrow I_{max}$  (dòng cực đại chạy qua cơ cấu đo)
- Khi  $R_x \rightarrow \infty \Rightarrow I_m \rightarrow 0$  (không có dòng chạy qua cơ cấu đo)

VD: Một Amper kế có các thông số sau:  $E = 3V$ ;  $R_1 + R_m = 20k\Omega$ . Xác định:

- Xác định vị trí của kim chỉ thị trên thang đo của Amper kế khi  $R_x = 0$ .
- Giá trị của  $R_x$  tương ứng với  $I_m = 1/4 I_{max}$ ;  $I_m = 1/2 I_{max}$ ;  $I_m = 3/4 I_{max}$ .

**Giải**

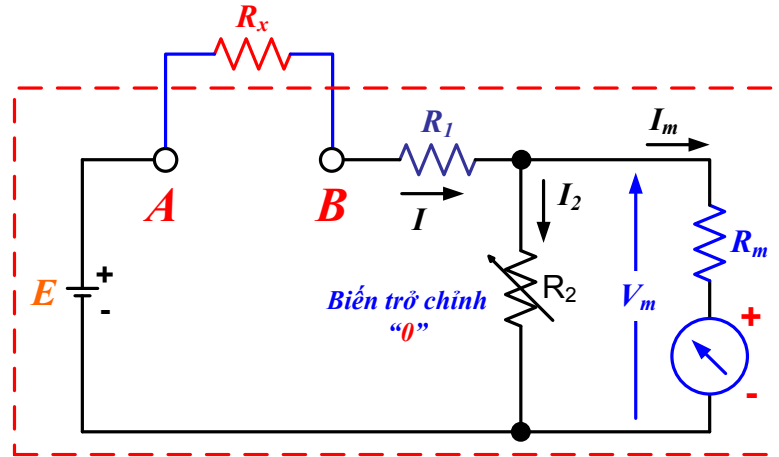
a. 
$$I_{max} = \frac{E}{R_x + R_1 + R_m} = \frac{3}{0 + 20k\Omega} = 150\mu A$$



b. Giá trị  $R_x$

$$R_x = \frac{E}{I_m} - (R_1 + R_m)$$

- Khi  $I_m = 1/4 I_{max} = 37,5\mu A \Rightarrow R_x = \frac{3}{37,5\mu A} - 20k\Omega = 60k\Omega$
- Khi  $I_m = 1/2 I_{max} = 75\mu A \Rightarrow R_x = \frac{3}{75\mu A} - 20k\Omega = 20k\Omega$
- Khi  $I_m = 3/4 I_{max} = 112,5\mu A \Rightarrow R_x = \frac{3}{112,5\mu A} - 20k\Omega = 6,67k\Omega$



Hình 4.3. Mạch đo Ohm kế thực tế

VD: Thông số của một Amper kế:  $E=3V$ ;  $I_{max}=100\mu A$ ;  $R_1=15k\Omega$ ;  $R_2=1k\Omega$ ;  $R_m=1k\Omega$ . Xác định trị số của  $R_x$  tương ứng với  $I_m=1/4 I_{max}$ ;  $I_m=1/2 I_{max}$ ;  $I_m=3/4 I_{max}$ .

**Giải**

- Khi  $I_m = 1/4 I_{max} = 25\mu A$   
 $V_m = I_m \times R_m = 25\mu A \times 1k\Omega = 25mV$   
 $I_2 = \frac{V_m}{R_2} = \frac{25mV}{1k\Omega} = 25\mu A$ ;  $I = I_m + I_2 = 25\mu A + 25\mu A = 50\mu A$   
 $R = (R_x + R_1) + (R_m // R_2)$   
 Vì  $R_m // R_2 = 500\Omega$  và  $(R_x + R_1) \gg (R_m // R_2) \Rightarrow R = R_x + R_1$   
 $R = \frac{E}{I} \Rightarrow R_x = \frac{3}{50\mu A} - 15k\Omega = 45k\Omega$
- Khi  $I_m = 1/2 I_{max} = 50\mu A$   
 $V_m = I_m \times R_m = 50\mu A \times 1k\Omega = 50mV$   
 $I_2 = \frac{V_m}{R_2} = \frac{50mV}{1k\Omega} = 50\mu A$ ;  $I = I_m + I_2 = 50\mu A + 50\mu A = 100\mu A$   
 $R = (R_x + R_1) + (R_m // R_2)$   
 Vì  $R_m // R_2 = 500\Omega$  và  $(R_x + R_1) \gg (R_m // R_2) \Rightarrow R = R_x + R_1$   
 $R = \frac{E}{I} \Rightarrow R_x = \frac{3}{100\mu A} - 15k\Omega = 15k\Omega$
- Khi  $I_m = 3/4 I_{max} = 75\mu A$   
 $V_m = I_m \times R_m = 75\mu A \times 1k\Omega = 75mV$

$$I_2 = \frac{V_m}{R_2} = \frac{75mV}{1k\Omega} = 75\mu A; I = I_m + I_2 = 75\mu A + 75\mu A = 150\mu A$$

$$R = (R_x + R_1) + (R_m // R_2)$$

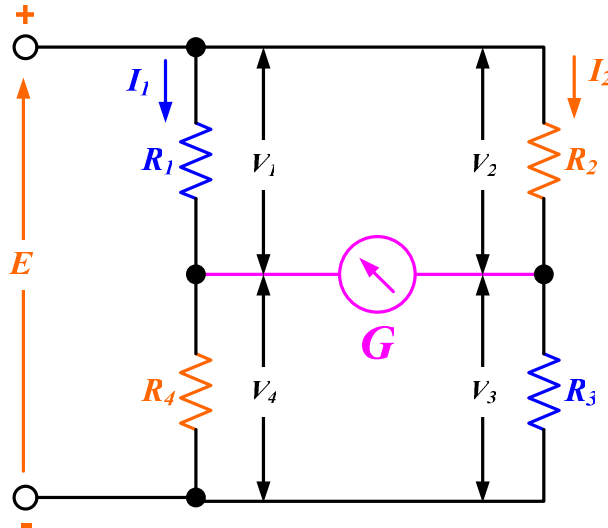
Vì  $R_m // R_2 = 500\Omega$  và  $(R_x + R_1) \gg (R_m // R_2) \Rightarrow R = R_x + R_1$

$$R = \frac{E}{I} \Rightarrow R_x = \frac{3}{150\mu A} - 15k\Omega = 5k\Omega$$

### 4.3. Cầu Wheatstone

#### 1. Cầu Wheatstone cân bằng

Nguyên lý được trình bày ở hình 4.4



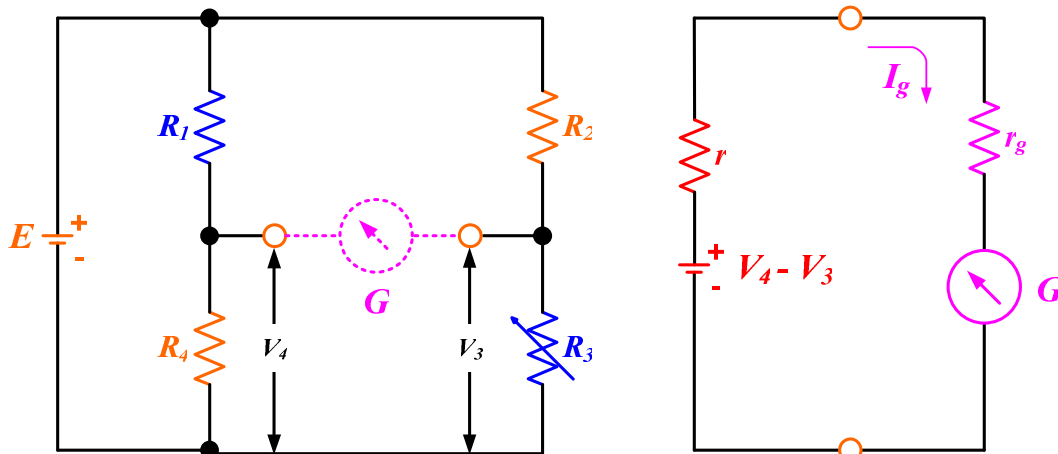
Hình 4.4. Cầu Wheatstone cân bằng

$$\text{Điều kiện để cầu cân bằng: } R_1 \times R_3 = R_2 \times R_4 \Leftrightarrow \frac{R_1}{R_4} = \frac{R_2}{R_3}$$

Khi cân bằng, điện kế G chỉ giá trị 0 và không có dòng điện chạy qua điện kế. Cầu đo điện trở Wheatstone là một phương pháp đo điện trở chính xác thường dùng phổ biến trong phòng thí nghiệm. Kết quả đo không phụ thuộc vào nguồn cung cấp E và giá trị điện trở nhỏ nhất đo được vào khoảng 5Ω.

#### 2. Cầu Wheatstone không cân bằng

Cầu Wheatstone không cân bằng thường được sử dụng trong công nghiệp để đo điện trở hoặc sự thay đổi điện trở của phần tử cần đo.



a) Điện áp ngõ ra để hở

b) Mạch tương đương Thevenin

Hình 4.5. Cầu Wheatstone không cân bằng

Điện áp ngõ ra của cầu đo:

$$V_4 - V_3 = E \left[ \frac{R_4}{R_1 + R_4} - \frac{R_3}{R_2 + R_3} \right]$$

Tổng trở ngõ ra của cầu đo:

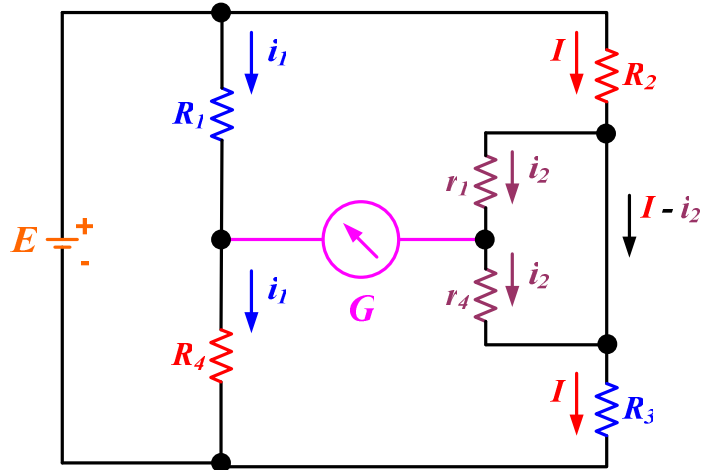
$$r = [R_1 // R_4] + [R_2 // R_3]$$

Dòng điện  $I_g$  chạy qua điện kế:

$$I_g = \frac{V_4 - V_3}{r + r_g}$$

Trong đó :  $r_g$  - nội trở của *điện kế G*

#### 4.4. Cầu đôi Kelvin



Hình 4.6. Cầu đôi Kelvin đo điện trở nhỏ

Khi cầu cân bằng:

$$i_1 R_1 = i_2 r_1 + IR_2 \Rightarrow IR_2 = i_1 R_1 - i_2 r_1 = R_1 (i_1 - i_2 r_1 / R_1)$$

và

$$i_1 R_4 = i_2 r_4 + IR_3 \Rightarrow IR_3 = i_1 R_4 - i_2 r_4 = R_4 (i_1 - i_2 r_4 / R_4)$$

Vậy ta có : 
$$\frac{IR_2}{IR_3} = \frac{R_1 (i_1 - i_2 r_1 / R_1)}{R_4 (i_1 - i_2 r_4 / R_4)}$$

Với điều kiện cầu cân bằng và  $r_1 = R_1$  và  $r_4 = R_4$

$$\boxed{\frac{R_2}{R_3} = \frac{R_1}{R_4} = \frac{r_1}{r_4}}$$

VD: Xác định giá trị  $R_2$ , biết rằng  $R_1 = 23,5 \Omega$ ;  $R_3 = 1m\Omega$ ;  $R_4 = 1k\Omega$ .

**Giải**

$$R_2 = \frac{R_1}{R_4} \times R_3 = \frac{23,5}{1000} \times 1m\Omega = 23,5 \times 10^{-6} \Omega$$

#### 4.5. Đo điện trở có trị số lớn (SV tự tham khảo sách)

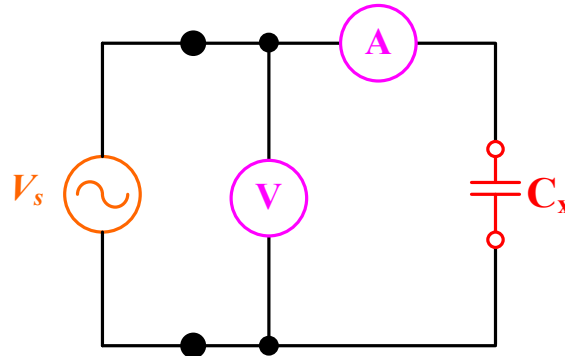
1. Dùng Volt kế,  $\mu A$  kế
2. Megaohm chuyên dụng

#### 4.6. Đo điện trở nối đất (SV tự tham khảo sách)

**CHƯƠNG 5. ĐO ĐIỆN DUNG, ĐIỆN CẢM, HỖ CẢM (3,1,0)**

**5.1 Đo C, L và M dùng Volt kế, Amper kế**

**1. Đo tụ điện**



**Hình 5.1.** Mạch đo  $C_x$  dùng Volt kế và Amper kế

Tổng trở điện dung  $C_x$  :

$$Z_{C_x} = \frac{V}{I} = \frac{1}{\omega C_x} \Rightarrow C_x = \frac{I}{\omega V}$$

Trong đó:

V – chỉ số của Volt kế

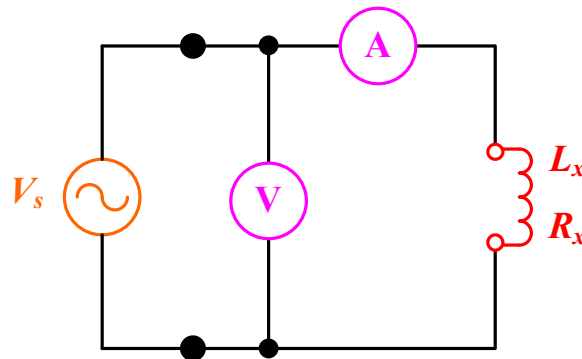
I – chỉ số của Amper kế

Ngoài ra, nếu biết được điện trở rì  $R_x$  của điện dung  $C_x$  thì  $C_x$  có thể được xác định:

$$Z_{C_x} = \frac{V}{I} = \sqrt{R_x^2 + (1/\omega C_x)^2}$$

$$C_x = \frac{\sqrt{Z_{C_x}^2 - R_x^2}}{\omega}$$

**2. Đo điện cảm**



**Hình 5.2.** Mạch đo  $L_x$  dùng Volt kế và Amper kế

Tổng trở điện cảm  $L_x$  :

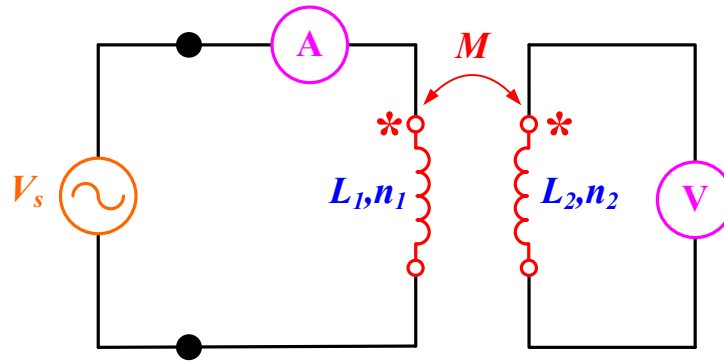
$$Z_{L_x} = \frac{V}{I} = \sqrt{R_x^2 + (\omega L_x)^2} \Rightarrow L_x = \frac{\sqrt{Z_{L_x}^2 - R_x^2}}{\omega}$$

Trong đó:

$Z_{L_x}$  – được xác định bằng Volt kế và Amper kế

$R_x$  – điện trở thuần của  $L_x$ , được đo bằng Ohm kế

### 3. Đo hệ số cảm



**Hình 5.3.** Mạch đo hệ số hồ cảm  $M$  dùng Volt kế và Amper kế

Hệ số hồ cảm được xác định:

$$M = \frac{V}{\omega I}$$

Trong đó:

$V$  – chỉ số của Volt kế

$I$  – chỉ số của Amper kế

Ngoài ra,  $M$  còn có thể được xác định

$$M = \frac{n_1 n_2}{R}$$

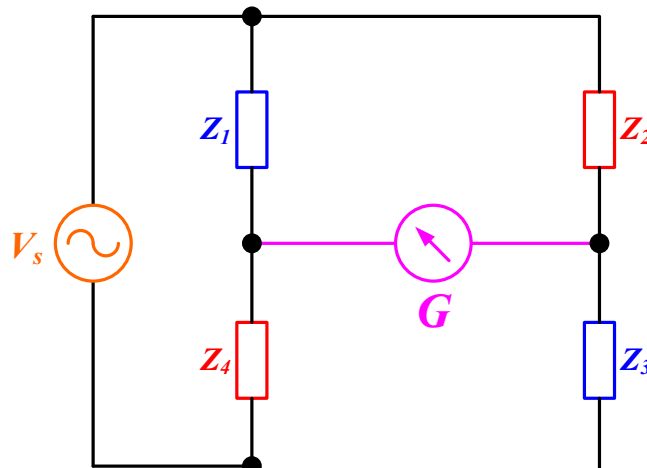
Trong đó:

$n_1, n_2$  – số vòng dây quấn cuộn 1 và cuộn 2

$R$  – từ trở của mạch từ

## 5.2 Đo C và L dùng cầu đo

### 1. Cầu Wheatstone xoay chiều



**Hình 5.4.** Cầu Wheatstone xoay chiều

Điều kiện để cầu cân bằng:

$$Z_1 \cdot Z_3 = Z_2 \cdot Z_4$$

Triển khai số phức của phương trình cân bằng:

$$\begin{cases} \text{Re}[Z_1 \cdot Z_3] = \text{Re}[Z_2 \cdot Z_4] \\ \text{Im}[Z_1 \cdot Z_3] = \text{Im}[Z_2 \cdot Z_4] \end{cases}$$

**VD:** Xác định giá trị  $Z_2$ , biết rằng  $Z_1=(5+j3)\Omega$ ;  $Z_3=10\Omega$ ;  $Z_4=(10+j10)\Omega$ .

**Giải**

$$10(5 + j3) = Z_2 \times (10 + j10) \Leftrightarrow 50 + j30 = 10Z_2 + j(10Z_2)$$

$$\begin{cases} 50 = 10Z_2 \\ 30 = 10Z_2 \end{cases} \Rightarrow \begin{cases} \text{Re}(Z_2) = 5 \\ \text{Im}(Z_2) = 3 \end{cases} \Rightarrow \boxed{Z_2 = 5 + j3}$$

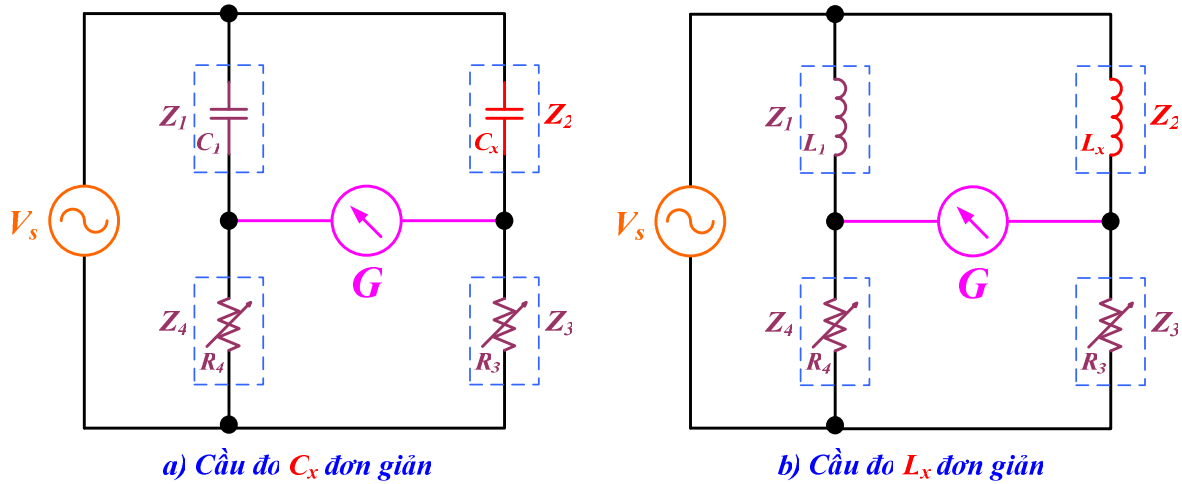
**VD:** Xác định giá trị  $Z_4$ , biết rằng  $Z_1=(5+j3)\Omega$ ;  $Z_3=(4-j3)\Omega$ ;  $Z_2=(1+j)\Omega$ .

**Giải**

$$(5 + j3)(4 - j3) = Z_4 \times (3 + j) \Leftrightarrow 29 - j3 = Z_4 + j(Z_4)$$

$$\begin{cases} 29 = Z_4 \\ -3 = Z_4 \end{cases} \Rightarrow \begin{cases} \text{Re}(Z_4) = 29 \\ \text{Im}(Z_4) = -3 \end{cases} \Rightarrow \boxed{Z_4 = 29 - j3}$$

**2. Cầu đơn giản đo C và L**



**Hình 5.5.** Cầu điện dung và điện cảm đơn giản

**Đối với hình 5.5.a:**

$Z_1$  – tụ điện mẫu  $C_1$ ;  $Z_2$  – tụ điện cần đo trị số  
 $Z_3, Z_4$  – điện trở mẫu thay đổi được trị số

Khi cầu cân bằng:

$$Z_1 \cdot Z_3 = Z_2 \cdot Z_4 \Leftrightarrow \frac{1}{j\omega C_1} R_3 = \frac{1}{j\omega C_x} R_4 \Rightarrow \boxed{C_x = \frac{R_4}{R_3} C_1}$$

**Đối với hình 5.5.b:**

$Z_1$  – cuộn dây mẫu  $L_1$ ;  $Z_2$  – cuộn dây cần đo trị số  
 $Z_3, Z_4$  – điện trở mẫu thay đổi được trị số

Khi cầu cân bằng:

$$Z_1 \cdot Z_3 = Z_2 \cdot Z_4 \Leftrightarrow j\omega L_1 R_3 = j\omega L_x R_4 \Rightarrow \boxed{L_x = \frac{R_3}{R_4} L_1}$$

**VD:** Xác định giá trị  $C_x$ , biết rằng  $C_1= 100\mu F$ ;  $Z_3=10\Omega$ ;  $Z_4=15\Omega$

**Giải**

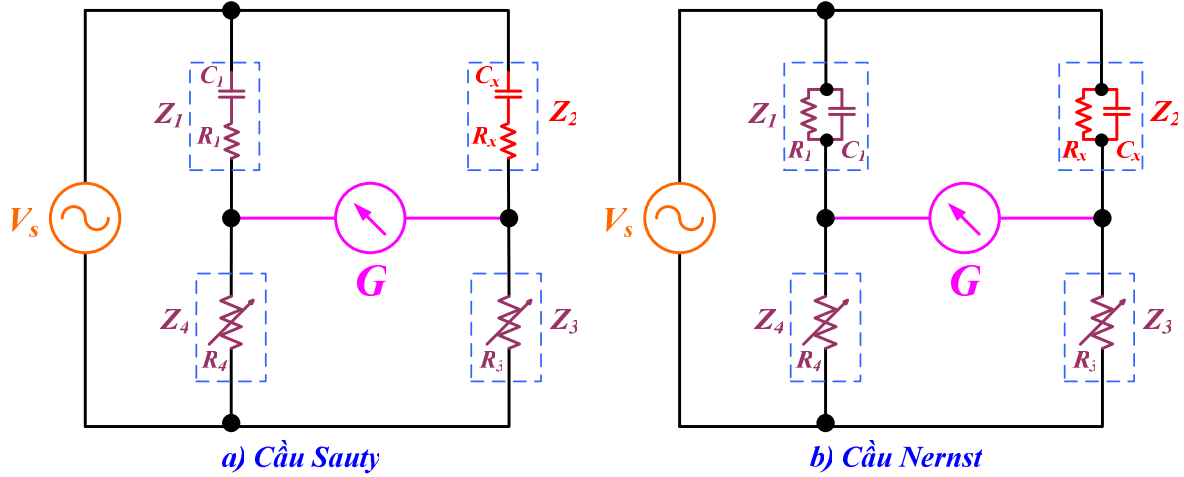
Ta có :  $C_x = \frac{Z_4}{Z_3} C_1 = \frac{15}{10} \times 100\mu F = 150\mu F$

**VD:** Xác định giá trị  $L_x$ , biết rằng  $L_1= 100mH$ ;  $Z_3=10\Omega$ ;  $Z_4=5\Omega$

**Giải**

Ta có :  $L_x = \frac{Z_3}{Z_4} L_1 = \frac{5}{10} \times 100mH = 50mH$

3. Cầu đo LC phổ quát



**Hình 5.6.** Cầu đo điện dung phổ quát

Hình 5.6.a, khi cầu cân bằng:

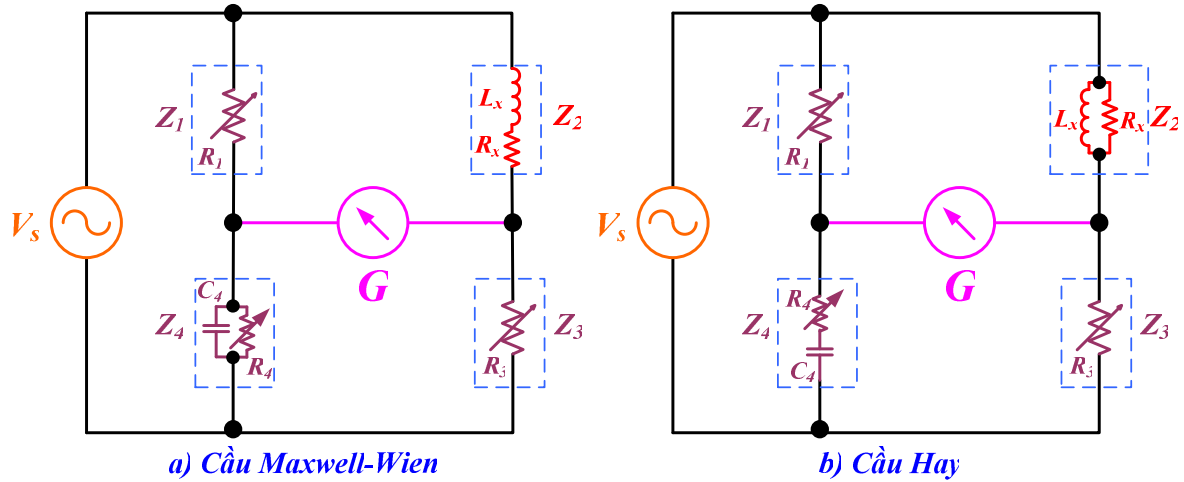
$$\frac{Z_1}{Z_4} = \frac{Z_2}{Z_3} \Leftrightarrow \frac{R_1 - j/(\omega C_1)}{R_4} = \frac{R_x - j/(\omega C_x)}{R_3}$$

Cân bằng phần thực:

$$R_x = \frac{R_1 \times R_3}{R_4}$$

Cân bằng phần ảo:

$$\frac{1}{C_1 R_4} = \frac{1}{C_x R_3} \Rightarrow C_x = \frac{R_4}{R_3} \times C_1$$



**Hình 5.7.** Cầu đo điện cảm phổ quát

Hình 5.7.a, khi cầu cân bằng:

$$\frac{Z_1}{Z_4} = \frac{Z_2}{Z_3} \Leftrightarrow R_1 \left( \frac{1}{R_4} + j\omega C_4 \right) = \frac{R_x + j\omega L_x}{R_3}$$

Cân bằng phần thực:

$$R_x = \frac{R_1 \times R_3}{R_4}$$

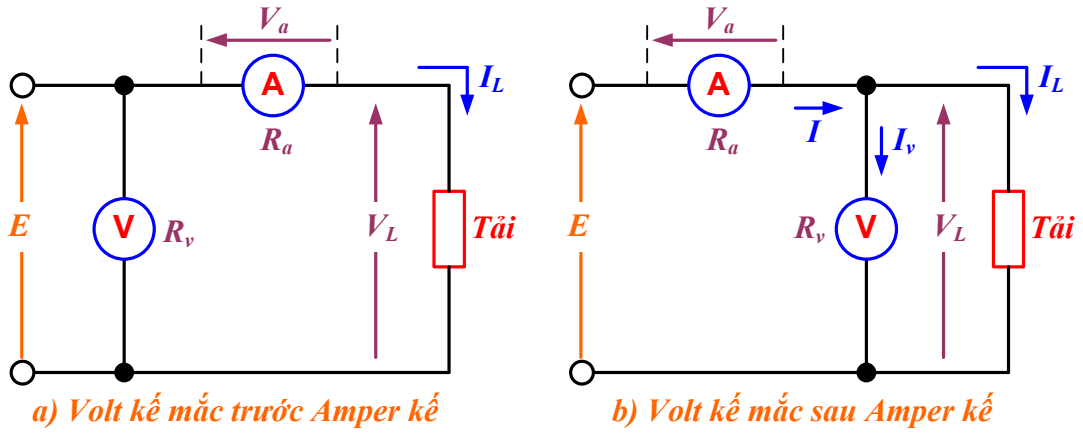
Cân bằng phần ảo:

$$R_1 C_4 = \frac{L_x}{R_3} \Rightarrow L_x = R_1 R_3 C_4$$

**CHƯƠNG 6. ĐO CÔNG SUẤT VÀ ĐIỆN NĂNG (6,2,0)**

**6.1 Đo công suất một chiều (DC)**

**1. Phương pháp dùng Volt kế và Amper kế**



**Hình 6.1.** Đo công suất bằng Volt kế và Amper kế

Hình 6.1.a, chỉ số Volt kế:  $V = V_a + V_L$

Nếu  $V_a \ll V_L$  thì  $V = V_L$ .

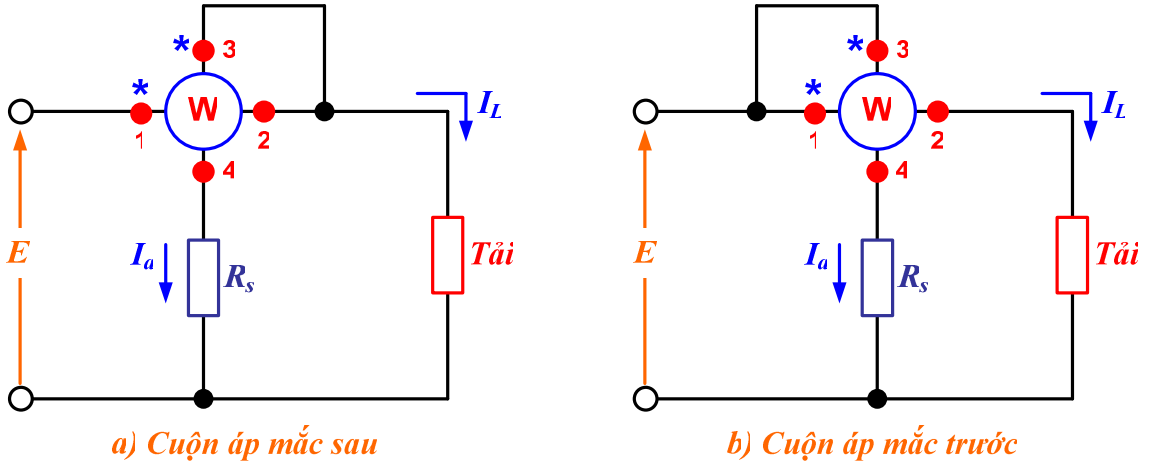
Công suất của tải:  $P_L = V \times I_L$  ( $I_L$  – chỉ số của Amper kế)

Hình 6.1.b, chỉ số Amper kế:  $I = I_v + I_L$

Nếu  $I_v \ll I_L$  thì  $I = I_L$ .

Công suất của tải:  $P_L = V \times I_L$  ( $V$  – chỉ số của Volt kế)

**2. Dùng Watt kế**



**Hình 6.2.** Đo công suất bằng Watt kế

Đầu 1, 2 : cuộn dòng điện (cuộn cố định)

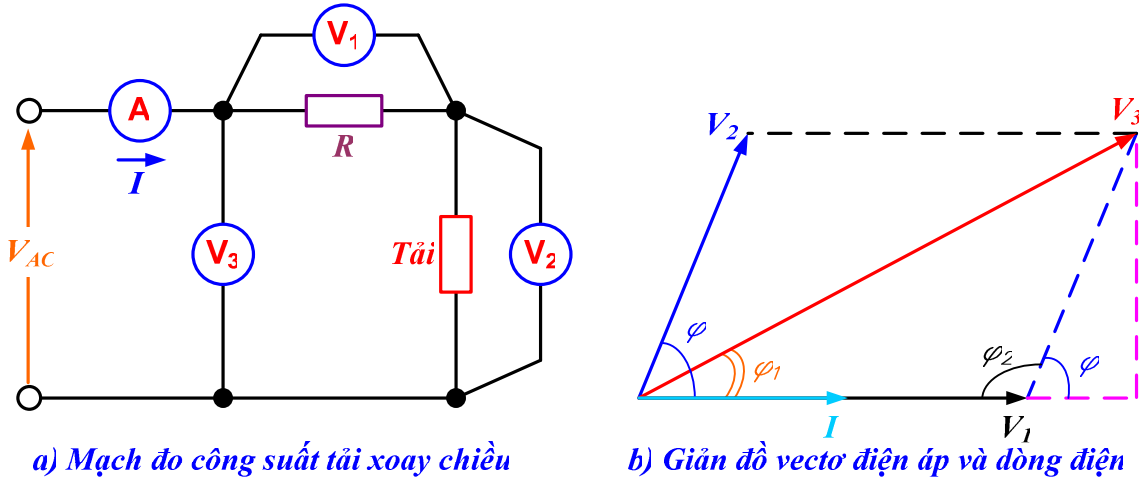
Đầu 3, 4 : cuộn điện áp (cuộn di động)

$R_s$  – điện trở giới hạn dòng qua cuộn điện áp (cuộn di động) và thay theo thang đo.



## 6.2 Đo công suất xoay chiều (AC) một pha

### 1. Dùng Volt kế và Amper kế



a) Mạch đo công suất tải xoay chiều

b) Giải đồ vectơ điện áp và dòng điện

**Hình 6.3.** Đo công suất tải xoay chiều một pha bằng Volt kế và Amper kế

Phương pháp thực hiện:

- Đo điện áp  $V_1, V_2, V_3$  và dòng điện  $I$
- Tính  $\cos\varphi$

$$V_2^2 = V_3^2 + V_1^2 - 2V_1V_3 \cos\varphi_1 \Rightarrow \cos\varphi_1 = \frac{V_3^2 + V_1^2 - V_2^2}{2V_1V_3}$$

$$V_2 \cos\varphi = V_3 \cos\varphi_1 - V_1$$

$$\text{Vậy } \cos\varphi = \frac{V_3 \cos\varphi_1 - V_1}{V_2} = \frac{V_3^2 - V_2^2 - V_1^2}{2V_1V_2}$$

- Tính **công suất của tải  $P_{Load}$**

$$P_{Load} = V_2 I \cos\varphi$$

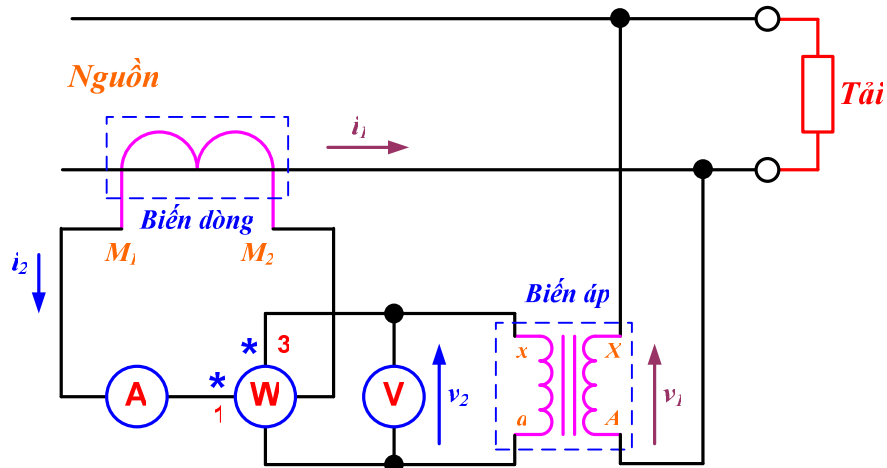
$$P_{Load} = V_2 I \left[ \frac{V_3^2 - V_2^2 - V_1^2}{2V_1V_2} \right]$$

$$P_{Load} = I \left[ \frac{V_3^2 - V_2^2 - V_1^2}{2V_1} \right]$$

### 2. Dùng Watt kế

Công suất của tải xoay chiều một pha có thể được *đo trực tiếp* bằng *Watt kế một pha*. Cách *lắp đặt vận hành* và *đọc trị số* của Watt kế được hướng dẫn cụ thể trong tài liệu kèm theo.

### 3. Dùng phối hợp biến dòng, biến áp kết hợp Watt kế điện động

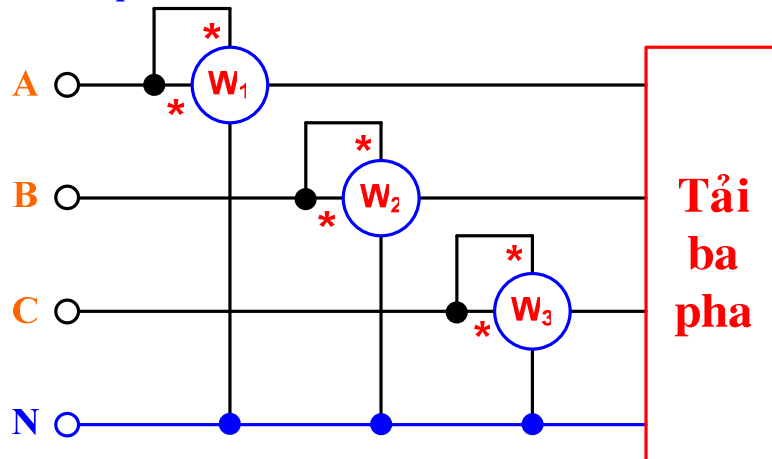


**Hình 6.4.** Đo công suất tải xoay chiều dùng biến áp, biến dòng và Watt kế  
 Công suất của tải bằng công suất đo bởi Watt kế nhân với tỉ số biến áp và tỉ số biến dòng.

#### 4. Đo công suất hiệu dụng của tải bằng bộ biến đổi nhiệt điện

Khi cần đo công suất của tải có tín hiệu cao tần hoặc/và dạng tín hiệu bất kỳ người ta thường sử dụng phương pháp đo công suất bằng bộ biến đổi nhiệt điện.

#### 6.3 Đo công suất tải ba pha



**Hình 6.5.** Đo công suất tải xoay chiều 3 pha

Kết quả đo là tổng của trị số đo bởi 3 Watt kế một pha

$$P_L = P_A + P_B + P_C = V_A I_A \cos \varphi_A + V_B I_B \cos \varphi_B + V_C I_C \cos \varphi_C$$

#### 6.4 Đo công suất phản kháng của tải

##### 1. Công suất phản kháng tải một pha

Công suất phản kháng một pha được định nghĩa:

$$Q = UI \sin \varphi = UI \cos(90^\circ - \varphi)$$

Trong đó :

$U, I$  – áp và dòng hiệu dụng

$\varphi$  - góc lệch pha giữa áp và dòng

Đơn vị đo của  $Q$  là var (volt ampers reactive)

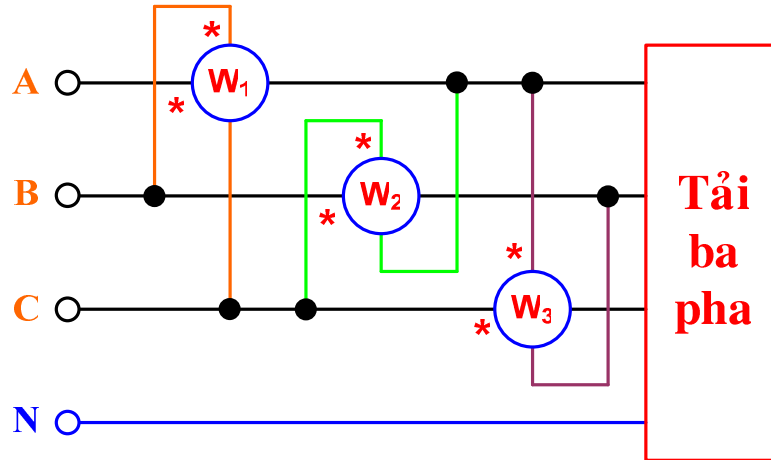
Công suất phản kháng một pha có thể đo bằng Volt kế và Amper kế, với lưu ý:

$$\sin \varphi = \sqrt{1 - \cos^2 \varphi}$$

Quan hệ giữa *công suất biểu kiến S*, (*công suất đỉnh*), *công suất tác dụng P* (*công suất thực*) và *công suất phản kháng Q*:

$$S = P + jQ$$

## 2. Công suất phản kháng tải ba pha



**Hình 6.6.** Đo công suất phản kháng tải xoay chiều 3 pha dùng Watt kế Công suất phản kháng  $Q$  của tải 3 pha:

$$Q = Q_A + Q_B + Q_C$$

Pha A:

$$P_A = I_A U_{BC} \cos(90^\circ - \varphi) = I_A \sqrt{3} V_A \sin \varphi = \sqrt{3} Q_A$$

$$Q_A = \frac{P_A}{\sqrt{3}}$$

Tương tự cho pha B và pha C:

$$Q_B = \frac{P_B}{\sqrt{3}} \quad Q_C = \frac{P_C}{\sqrt{3}}$$

$$Q = \frac{P_A + P_B + P_C}{\sqrt{3}}$$

Trong đó:

$P_A, P_B, P_C$ : công suất hiệu dụng của *pha A*, *pha B* và *pha C*.

## 6.5 Đo điện năng

### 1. Điện năng kế một pha

Điện năng kế một pha hoạt động dựa trên nguyên tắc *hiện tượng cảm ứng điện từ*. Để điện kế hoạt động ổn định và chính xác, người sử dụng phải nối các *đầu vào điện kế* theo đúng chỉ dẫn của *nhà sản xuất*.

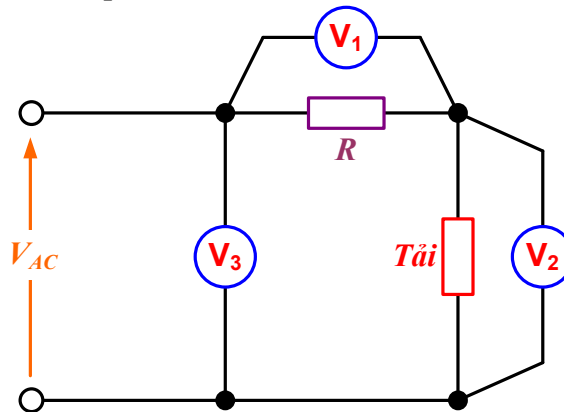
### 2. Điện năng kế ba pha

Nói chung, điện kế ba pha có thể xem như là *tổ hợp* của *ba điện năng kế một pha ghép lại với nhau*. Cách *lắp đặt sử dụng* và *vận hành* cần theo chỉ dẫn của *nhà sản xuất* để tránh tai nạn và điện kế hoạt động ổn định, chính xác.

## 6.6 Đo công suất, điện năng bằng Watt met, công-tơ điện tử (SV tự tham khảo sách)

### 6.7 Đo hệ số công suất (cosφ)

#### 1. Đo cosφ dùng Volt kế và Amper kế



Hình 6.7. Đo hệ số công suất tải một pha

Hệ số công suất  $\cos\varphi$  được xác định theo công thức sau:

$$\cos\varphi = \frac{V_3^2 - V_2^2 - V_1^2}{2V_1V_2}$$

#### 2. Cosφ kế dùng cơ cấu điện động

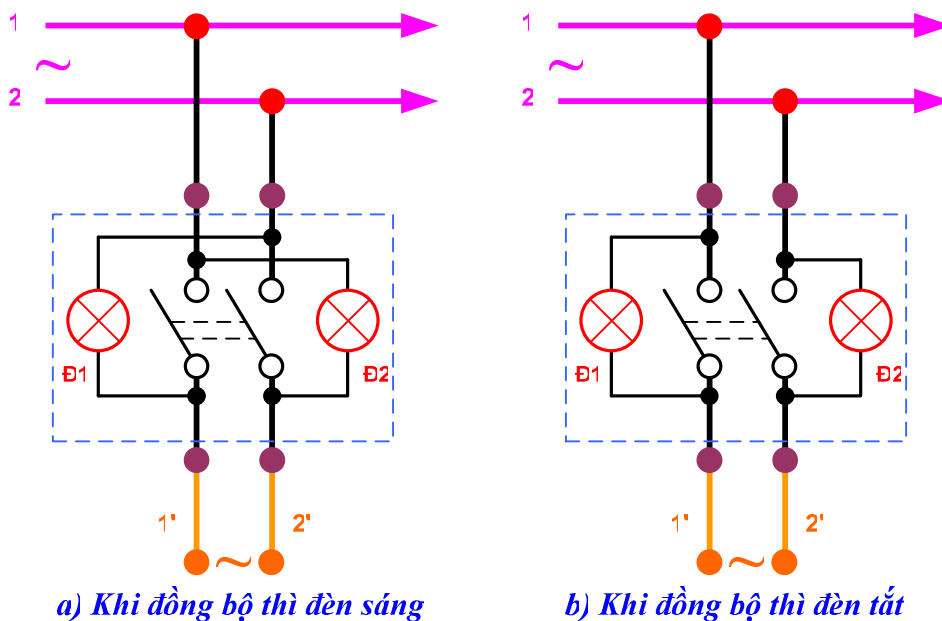
Hệ số công suất  $\cos\varphi$  được còn được xác định trực tiếp bằng thiết bị đo  $\cos\varphi$  điện động.

### 6.8 Thiết bị chỉ thị đồng bộ hóa (Synchronoscope)

Trong thực tế, khi cần phải *ghép nhiều máy phát điện* hoặc *hoà điện áp từ máy phát* điện vào *lưới điện*, ta phải *đảm bảo* hai yêu cầu **quan trọng** sau:

- Cùng tần số
- Cùng biên độ điện áp

Thiết bị chỉ thị đồng bộ sẽ giúp cho việc *kết nối* các nguồn *điện năng* từ nhiều nguồn khác nhau một cách an toàn.



a) Khi đồng bộ thì đèn sáng

b) Khi đồng bộ thì đèn tắt

Hình 6.8. Mạch chỉ thị đồng bộ đơn giản

### 6.9 Tần số kế (SV tự tham khảo sách)

## CHƯƠNG 7. DAO ĐỘNG KÝ (6,2,0)

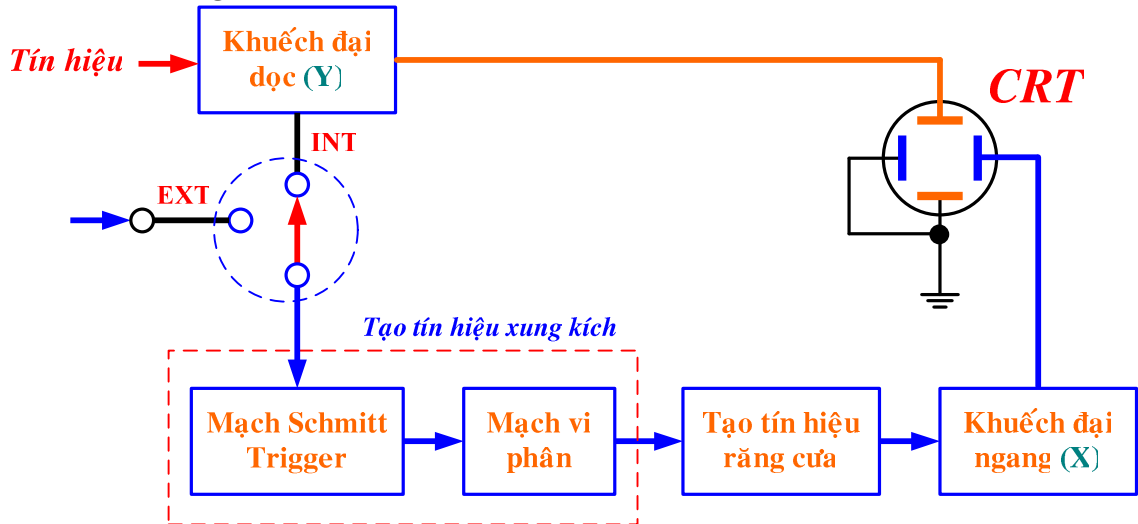
### 7.1 Ống phóng điện tử (CRT – Cathode Ray Tube)



Hình 7.1. Sơ đồ khối của CRT

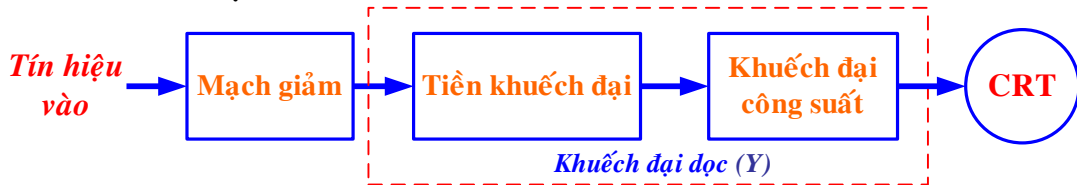
### 7.2 Các khối chức năng trong dao động ký

#### 1. Sơ đồ chung



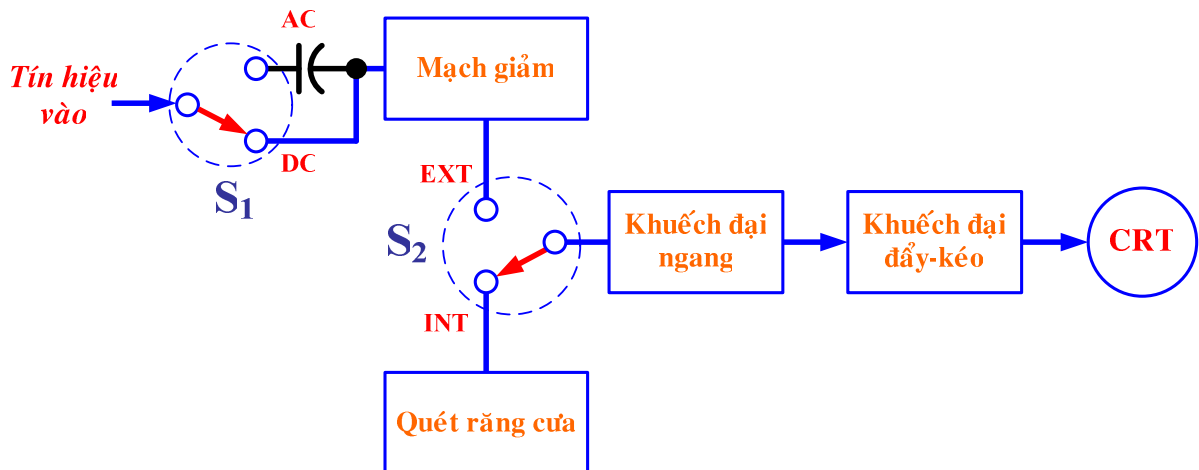
Hình 7.2. Sơ đồ khối dao động ký

#### 2. Khối khuếch đại Y



Hình 7.3. Sơ đồ khối khuếch đại dọc

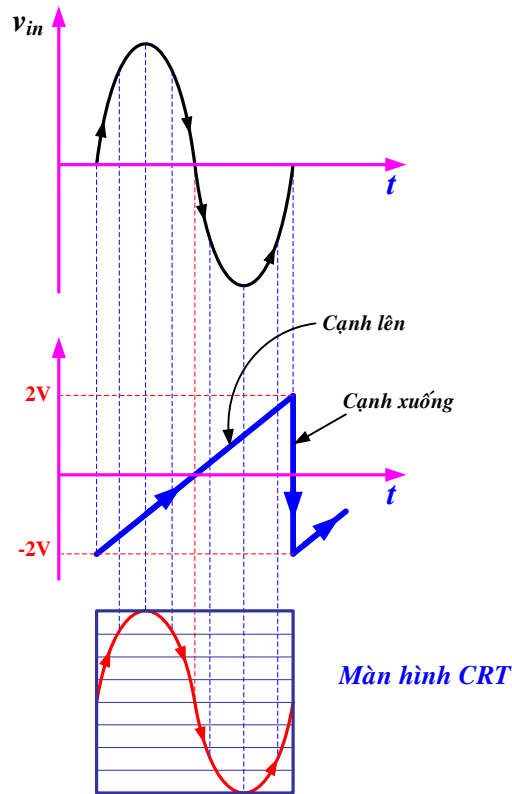
#### 3. Khối khuếch đại X



Hình 7.4. Sơ đồ khối khuếch đại ngang

### 7.3 Sự tạo ảnh trên màn hình dao động ký

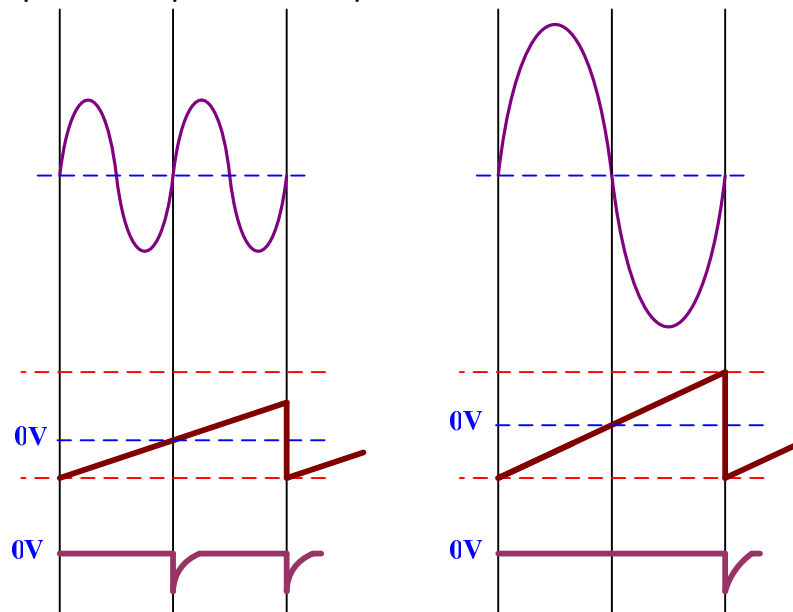
#### 1. Tín hiệu vào trục X, Y



**Hình 7.5.** Hình thành ảnh trên màn hình CRT

#### 2. Sự đồng bộ giữa $X(t)$ và $Y(t)$

Sự đồng bộ của tín hiệu quét dọc (Y) và tín hiệu quét ngang (X) sẽ làm cho dạng tín hiệu được hiển thị trên CRT ổn định, ngược lại sẽ có hiện tượng “trôi hình” trên màn ảnh do sự bất đồng bộ của tín hiệu Y và tín hiệu X.



**Hình 7.6.** Tín hiệu răng cưa đồng bộ với tín hiệu sin quan sát

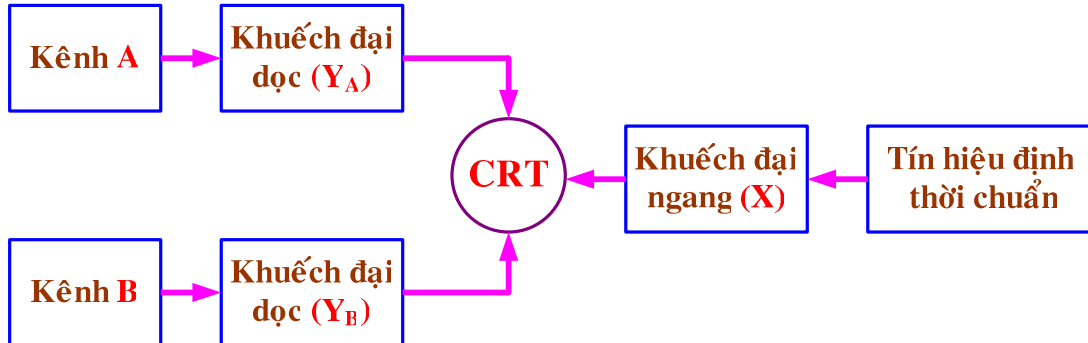
## 7.4 Dao động ký hai tia

### 1. Cấu tạo

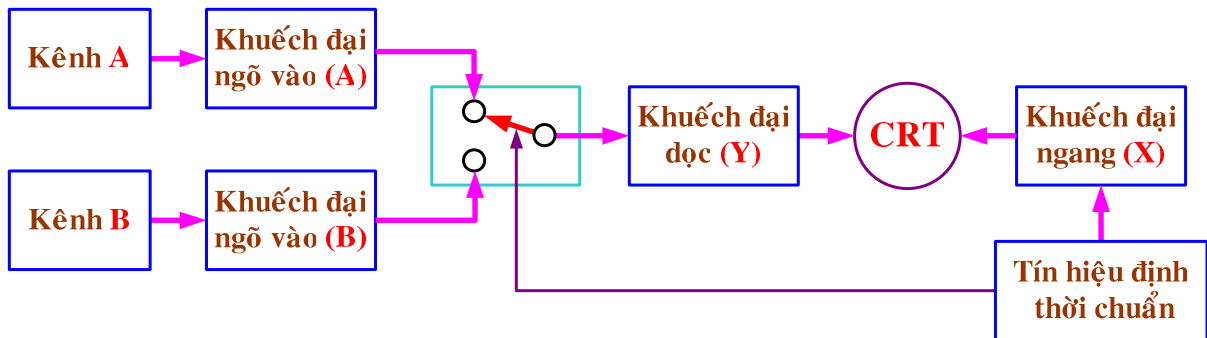
Về cấu tạo, dao động ký (*Oscilloscope*) hai kênh có 2 loại chính:

- Hai tia, hai kênh.
- Một tia hai kênh.

### 2. Sơ đồ khối



Hình 7.7. Sơ đồ khối dao động ký hai kênh, hai tia



Hình 7.8. Sơ đồ khối dao động ký hai kênh, một tia

## 7.5 Đầu đo

Đầu đo của dao động ký có *hai mức thay đổi điện áp ngõ vào*:

- Mức điện áp **1:1**
- Mức điện áp **10:1**

## 7.6 Bộ tạo trễ

Để đo tín hiệu có tần số cao, người ta thông thường cho tín hiệu đi qua bộ tạo trễ. Bộ tạo trễ thường có 2 dạng: *dây song hành* và *dây đồng trục*.

## 7.7 Dao động ký số và dao động ký có ứng dụng Vi xử lý (*SV tự tham khảo sách*)

## **CHƯƠNG 8. THIẾT BỊ PHÂN TÍCH TÍN HIỆU (2,0,0)**

*(SV tự đọc sách)*

### **8.1 Máy đo độ méo**

1. Định nghĩa
2. Mạch nguyên lý đo

### **8.2 Q-met**

1. Nguyên lý đo Q
2. Thiết bị thực tế

### **8.3 Máy phân tích phổ**

Máy phân tích phổ theo nguyên lý TRF

## **CHƯƠNG 9. MỘT SỐ THIẾT BỊ ĐO THÔNG THƯỜNG (4,0,0)**

*(SV tự đọc sách)*

- 9.1. VOM (cơ điện, điện tử)
- 9.2. Amper kềm
- 9.3. Megaohm
- 9.4. Máy phát tín hiệu chuẩn cao tần, âm tần
- 9.5. Tần kế cao tần, âm tần
- 9.6. Thiết bị đo độ sâu điều chế AM, FM