



# Bài Giảng

## Kỹ thuật Đo lường Điện

## MỤC LỤC

<b>LỜI NÓI ĐẦU.....</b>	<b>3</b>
<b>PHẦN I: ĐẠI CƯƠNG VỀ ĐO LƯỜNG ĐIỆN .....</b>	<b>4</b>
<b>1.1 KHÁI NIỆM VỀ ĐO LƯỜNG ĐIỆN.....</b>	<b>4</b>
1.1.1. <i>Khái niệm về đo lường.</i> .....	4
1.1.2. <i>Khái niệm về đo lường điện.</i> .....	4
1.1.3. <i>Các phương pháp đo.</i> .....	4
<b>1.2. CÁC SAI SỐ VÀ TÍNH SAI SỐ.....</b>	<b>7</b>
1.2.1. <i>Khái niệm về sai số.</i> .....	7
1.2.2. <i>Các loại sai số.</i> .....	8
1.2.3. <i>Phương pháp tính sai số.</i> .....	10
1.2.4. <i>Các phương pháp hạn chế sai số.</i> .....	11
<b>PHẦN II. CÁC LOẠI CƠ CẤU ĐO THÔNG DỤNG .....</b>	<b>12</b>
<b>2.1. KHÁI NIỆM VỀ CƠ CẤU ĐO.....</b>	<b>12</b>
<b>2.2. CÁC LOẠI CƠ CẤU ĐO.....</b>	<b>13</b>
2.2.1. <i>Cơ cấu đo từ điện.</i> .....	13
2.2.2. <i>Cơ cấu đo điện từ.</i> .....	16
2.2.3. <i>Cơ cấu đo điện động.</i> .....	17
2.2.4. <i>Cơ cấu đo cảm ứng.</i> .....	18
<b>PHẦN III. ĐO CÁC ĐẠI LƯỢNG ĐIỆN CƠ BẢN .....</b>	<b>20</b>
<b>3.1. ĐO ĐẠI LƯỢNG U, I.....</b>	<b>20</b>
3.1.1. <i>Đo dòng điện.</i> .....	20
3.1.2. <i>Đo điện áp.</i> .....	26
<b>3.2. ĐO CÁC ĐẠI LƯỢNG R, L, C.....</b>	<b>34</b>
3.2.1. <i>Đo điện trở.</i> .....	34
3.2.2. <i>Đo điện cảm.</i> .....	41
3.2.3. <i>Đo điện dung</i> .....	43
3.3.1. <i>Đo tần số.</i> .....	43
3.3.2. <i>Đo công suất và điện năng (năng lượng).</i> .....	45
<b>PHẦN IV. SỬ DỤNG CÁC LOẠI MÁY ĐO THÔNG DỤNG .....</b>	<b>53</b>
<b>4.1. SỬ DỤNG VOM, MΩ.....</b>	<b>53</b>
4.1.1. <i>Sử dụng VOM.</i> .....	53
4.1.2. <i>Sử dụng MΩ.</i> .....	55
<b>4.2. SỬ DỤNG AMPE KÌM, OSC.....</b>	<b>56</b>
4.2.1. <i>Sử Dụng AMPE KÌM.</i> .....	56
4.2.2. <i>Sử dụng Dao động ký (Oscilloscope).</i> .....	59
<b>4.3. SỬ DỤNG MÁY BIẾN ÁP ĐO LƯỜNG.....</b>	<b>69</b>
4.3.1. <i>Máy biến điện áp.</i> .....	69
4.3.2. <i>Máy biến dòng điện.</i> .....	71
<b>PHẦN V. TÀI LIỆU CẦN THAM KHẢO.....</b>	<b>74</b>
<i>Modull: Đo lường điện</i> .....	2

***Lời nói đầu***

Môn học kỹ thuật đo lường trình bày các kiến thức về kỹ thuật đo dùng trong ngành điện hiện nay. Giới thiệu những phép đo cơ bản để ứng dụng cho các ngành sản xuất công nghiệp.

Kỹ thuật Đo lường Điện là môn học nghiên cứu các phương pháp đo các đại lượng vật lý: đại lượng điện: điện áp, dòng điện, công suất,... và đại lượng không điện: nhiệt độ, độ ẩm, vận tốc...

Bài giảng Kỹ thuật Đo lường Điện được biên soạn dựa trên các giáo trình và tài liệu tham khảo mới nhất hiện nay, được dùng làm tài liệu tham khảo cho sinh viên các ngành: Điện công nghiệp, Điện dân dụng, Kỹ thuật Viễn thông, Kỹ thuật Thông tin, Tự động hoá, Trang thiết bị điện, Tín hiệu Giao thông.

Cung cấp cho sinh viên những kiến thức cơ bản và chuyên sâu về kỹ thuật đo lường trong ngành điện. Trình bày các dụng cụ đo, nguyên lý đo và phương pháp đo các thông số. Trên cơ sở đó, người học biết cách sử dụng dụng cụ đo và xử lý kết quả đo trong công việc sau này.

Trong quá trình biên soạn, đã được các đồng nghiệp đóng góp nhiều ý kiến, mặc dù cố gắng sửa chữa, bổ sung cho cuốn sách được hoàn chỉnh hơn, song chắc chắn không tránh khỏi những thiếu sót, hạn chế.

Mong nhận được các ý kiến đóng góp của bạn đọc.

## **Phần I: ĐẠI CƯƠNG VỀ ĐO LƯỜNG ĐIỆN**

Trong quá trình nghiên cứu khoa học nói chung và cụ thể là từ việc nghiên cứu, thiết kế, chế tạo, thử nghiệm cho đến khi vận hành, sửa chữa các thiết bị, các quá trình công nghệ... đều yêu cầu phải biết rõ các thông số của đối tượng để có các quyết định phù hợp. Sự đánh giá các thông số quan tâm của các đối tượng nghiên cứu được thực hiện bằng cách đo các đại lượng vật lý đặc trưng cho các thông số đó.

### **1.1 KHÁI NIỆM VỀ ĐO LƯỜNG ĐIỆN.**

#### **1.1.1. Khái niệm về đo lường.**

Đo lường là một quá trình đánh giá định lượng đại lượng cần đo để có kết quả bằng số so với đơn vị đo. Kết quả đo lường ( $A_x$ ) là giá trị bằng số, được định nghĩa bằng tỉ số giữa đại lượng cần đo ( $X$ ) và đơn vị đo ( $X_0$ ):

Kết quả đo được biểu diễn dưới dạng:  $A = \frac{X}{X_0}$  và ta có  $X = A.X_0$

Trong đó:  $X$  - đại lượng đo

$X_0$  - đơn vị đo

$A$  - con số kết quả đo.

Từ (1.1) có phương trình cơ bản của phép đo:  $X = A_x \cdot X_0$ , chỉ rõ sự so sánh  $X$  so với  $X_0$ , như vậy muốn đo được thì đại lượng cần đo  $X$  phải có tính chất là các giá trị của nó có thể so sánh được, khi muốn đo một đại lượng không có tính chất so sánh được thường phải chuyển đổi chúng thành đại lượng có thể so sánh được.

#### **1.1.2. Khái niệm về đo lường điện.**

Đại lượng nào so sánh được với mẫu hay chuẩn thì mới đo được. Nếu các đại lượng không so sánh được thì phải chuyển đổi về đại lượng so sánh được với mẫu hay chuẩn rồi đo. Đo lường điện là một quá trình đánh giá định lượng đại lượng điện cần đo để có kết quả bằng số so với đơn vị đo.

#### **1.1.3. Các phương pháp đo.**

Phương pháp đo là việc phối hợp các thao tác cơ bản trong quá trình đo, bao gồm các thao tác: xác định mẫu và thành lập mẫu, so sánh, biến đổi, thể hiện kết quả hay chỉ thị. Các phương pháp đo khác nhau phụ thuộc vào các phương pháp nhận thông tin đo và nhiều yếu tố khác như đại lượng đo lớn hay nhỏ, điều kiện đo, sai số, yêu cầu...

Tùy thuộc vào đối tượng đo, điều kiện đo và độ chính xác yêu cầu của phép đo mà người quan sát phải biết chọn các phương pháp đo khác nhau để thực hiện tốt quá

## TRƯỜNG CAO ĐẲNG NGHỀ VIỆT - ĐỨC HÀ TỈNH

trình đo lường. Có thể có nhiều phương pháp đo khác nhau nhưng trong thực tế thường phân thành 2 loại phương pháp đo chính là phương pháp đo biến đổi thẳng và phương pháp đo kiểu so sánh.

### 1.1.3.1. Phương pháp đo biến đổi thẳng

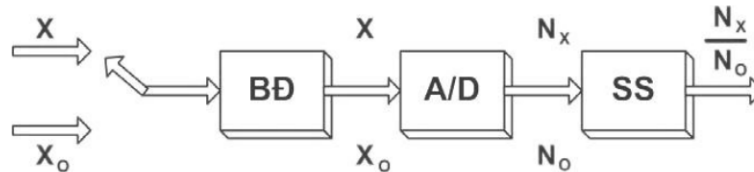
- **Định nghĩa:** là phương pháp đo có sơ đồ cấu trúc theo kiểu biến đổi thẳng, nghĩa là không có khâu phản hồi.

- **Quá trình thực hiện:**

\* Đại lượng cần đo  $X$  qua các khâu biến đổi để biến đổi thành con số  $N_x$ , đồng thời đơn vị của đại lượng đo  $X_0$  cũng được biến đổi thành con số  $N_0$ .

\* Tiến hành quá trình so sánh giữa đại lượng đo và đơn vị (thực hiện phép chia  $N_x/N_0$ ),

\* Thu được kết quả đo:  $A_x = X/X_0 = N_x/N_0$ .



Hình 1.2. Lưu đồ phương pháp đo biến đổi thẳng.

Quá trình này được gọi là quá trình biến đổi thẳng, thiết bị đo thực hiện quá trình này gọi là thiết bị đo biến đổi thẳng. Tín hiệu đo  $X$  và tín hiệu đơn vị  $X_0$  sau khi qua khâu biến đổi (có thể là một hay nhiều khâu nối tiếp) có thể được qua bộ biến đổi tương tự - số A/D để có  $N_x$  và  $N_0$ , qua khâu so sánh có  $N_x/N_0$ .

Dụng cụ đo biến đổi thẳng thường có sai số tương đối lớn vì tín hiệu qua các khâu biến đổi sẽ có sai số bằng tổng sai số của các khâu, vì vậy dụng cụ đo loại này thường được sử dụng khi độ chính xác yêu cầu của phép đo không cao lắm.

### 1.1.3.2. Phương pháp đo kiểu so sánh:

- **Định nghĩa:** là phương pháp đo có sơ đồ cấu trúc theo kiểu mạch vòng, nghĩa là có khâu phản hồi.

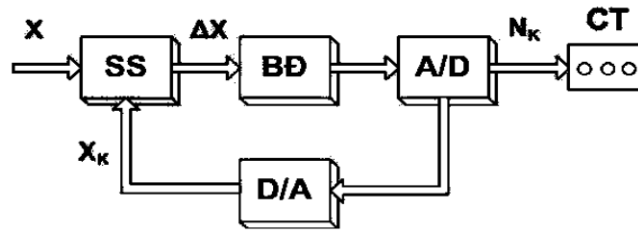
- **Quá trình thực hiện:**

+ Đại lượng đo  $X$  và đại lượng mẫu  $X_0$  được biến đổi thành một đại lượng vật lý nào đó thuận tiện cho việc so sánh.

+ Quá trình so sánh  $X$  và tín hiệu XK (tỉ lệ với  $X_0$ ) diễn ra trong suốt quá trình đo, khi hai đại lượng bằng nhau đọc kết quả XK sẽ có được kết quả đo.

## TRƯỜNG CAO ĐẲNG NGHỀ VIỆT - ĐỨC HÀ TỈNH

Quá trình đo như vậy gọi là quá trình đo kiểu so sánh. Thiết bị đo thực hiện quá trình này gọi là thiết bị đo kiểu so sánh (hay còn gọi là kiểu bù).



Hình 1.3. Lưu đồ phương pháp đo kiểu so sánh.

+ **Các phương pháp so sánh:** bộ so sánh SS thực hiện việc so sánh đại lượng đo X và đại lượng tỉ lệ với mẫu  $X_K$ , qua bộ so sánh có:  $\Delta_X = X - X_K$ . Tùy thuộc vào cách so sánh mà sẽ có các phương pháp sau:

### - So sánh cân bằng:

\* **Quá trình thực hiện:** đại lượng cần đo X và đại lượng tỉ lệ với mẫu  $X_K = N_K \cdot X_0$  được so sánh với nhau sao cho  $\Delta_X = 0$ , từ đó suy ra  $X = X_K = N_K \cdot X_0$

+ suy ra kết quả đo:  $A_X = X/X_0 = N_K$ . Trong quá trình đo,  $N_K$  phải thay đổi khi X thay đổi để được kết quả so sánh là  $\Delta_X = 0$  từ đó suy ra kết quả đo.

\* **Độ chính xác:** phụ thuộc vào độ chính xác của  $N_K$  và độ nhạy của thiết bị chỉ thị cân bằng (độ chính xác khi nhận biết  $\Delta_X = 0$ ).

**Ví dụ:** cầu đo, điện thế kế cân bằng

### - So sánh không cân bằng:

\* **Quá trình thực hiện:** đại lượng tỉ lệ với mẫu  $N_K$  là không đổi và biết trước, qua bộ so sánh có được  $\Delta_X = X - X_K$ , đo  $\Delta_X$  sẽ có được đại lượng đo  $X = \Delta_X + X_K$  từ đó có kết quả đo:  $A_X = X/X_0 = (\Delta_X + X_K)/X_0$ .

\* **Độ chính xác:** độ chính xác của phép đo chủ yếu do độ chính xác của  $X_K$  quyết định, ngoài ra còn phụ thuộc vào độ chính xác của phép đo  $\Delta_X$ , giá trị của  $\Delta_X$  so với X (độ chính xác của phép đo càng cao khi  $\Delta_X$  càng nhỏ so với X).

Phương pháp này thường được sử dụng để đo các đại lượng không điện, như đo ứng suất (dùng mạch cầu không cân bằng), đo nhiệt độ...

### - So sánh không đồng thời:

\* **Quá trình thực hiện:** dựa trên việc so sánh các trạng thái đáp ứng của thiết bị đo khi chịu tác động tương ứng của đại lượng đo X và đại lượng tỉ lệ với mẫu  $X_K$ , khi hai trạng thái đáp ứng bằng nhau suy ra  $X = X_K$ .

## TRƯỜNG CAO ĐẲNG NGHỀ VIỆT - ĐỨC HÀ TỈNH

Đầu tiên dưới tác động của  $X$  gây ra một trạng thái nào đó trong thiết bị đo, sau đó thay  $X$  bằng đại lượng mẫu  $X_K$  thích hợp sao cho cũng gây ra đúng trạng thái như khi  $X$  tác động, từ đó suy ra  $X = X_K$ . Như vậy rõ ràng là  $X_K$  phải thay đổi khi  $X$  thay đổi.

\* **Độ chính xác:** phụ thuộc vào độ chính xác của  $X_K$ . Phương pháp này chính xác vì khi thay  $X_K$  bằng  $X$  thì mọi trạng thái của thiết bị đo vẫn giữ nguyên. Thường thì giá trị mẫu được đưa vào khắc độ trước, sau đó qua các vạch khắc mẫu để xác định giá trị của đại lượng đo  $X$ . Thiết bị đo theo phương pháp này là các thiết bị đánh giá trực tiếp như vônmet, ampermet chỉ thị kim.

- **So sánh đồng thời:**

\* **Quá trình thực hiện:** so sánh cùng lúc nhiều giá trị của đại lượng đo  $X$  và đại lượng mẫu  $X_K$ , căn cứ vào các giá trị bằng nhau suy ra giá trị của đại lượng đo.

**Ví dụ:** xác định 1 inch bằng bao nhiêu mm: lấy thước có chia độ mm (mẫu), thước kia theo inch (đại lượng cần đo), đặt điểm 0 trùng nhau, đọc được các điểm trùng nhau là: 127mm và 5 inch, 254mm và 10 inch, từ đó có được: 1 inch =  $127/5 = 254/10 = 25,4$  mm

Trong thực tế thường sử dụng phương pháp này để thử nghiệm các đặc tính của các cảm biến hay của thiết bị đo để đánh giá sai số của chúng.

Từ các phương pháp đo trên có thể có các cách thực hiện phép đo là:

- **Đo trực tiếp :** kết quả có chỉ sau một lần đo
- **Đo gián tiếp:** kết quả có bằng phép suy ra từ một số phép đo trực tiếp
- **Đo hợp bộ:** như gián tiếp nhưng phải giải một phương trình hay một hệ phương trình mới có kết quả
- **Đo thống kê:** đo nhiều lần và lấy giá trị trung bình mới có kết quả

## **1.2. CÁC SAI SỐ VÀ TÍNH SAI SỐ.**

### **1.2.1. Khái niệm về sai số.**

Ngoài sai số của dụng cụ đo, việc thực hiện quá trình đo cũng gây ra nhiều sai số. Nguyên nhân của những sai số này gồm:

- Phương pháp đo được chọn.
- Mức độ cẩn thận khi đo.

Do vậy kết quả đo lường không đúng với giá trị chính xác của đại lượng đo mà có

## TRƯỜNG CAO ĐẲNG NGHỀ VIỆT - ĐỨC HÀ TỈNH

sai số, gọi là sai số của phép đo. Như vậy muốn có kết quả chính xác của phép đo thì trước khi đo phải xem xét các điều kiện đo để chọn phương pháp đo phù hợp, sau khi đo cần phải gia công các kết quả thu được nhằm tìm được kết quả chính xác.

### **1.2.2. Các loại sai số.**

*\* Sai số tuyệt đối, sai số tương đối, sai số hệ thống.*

- **Sai số của phép đo:** là sai số giữa kết quả đo lường so với giá trị chính xác của đại lượng đo.

- **Giá trị thực X<sub>th</sub> của đại lượng đo:** là giá trị của đại lượng đo xác định được với một độ chính xác nào đó (thường nhờ các dụng cụ mẫu có cấp chính xác cao hơn dụng cụ đo được sử dụng trong phép đo đang xét).

*Giá trị chính xác (giá trị đúng) của đại lượng đo thường không biết trước, vì vậy khi đánh giá sai số của phép đo thường sử dụng giá trị thực X<sub>th</sub> của đại lượng đo.*

Như vậy ta chỉ có sự đánh giá gần đúng về kết quả của phép đo. Việc xác định sai số của phép đo - tức là xác định độ tin tưởng của kết quả đo là một trong những nhiệm vụ cơ bản của đo lường học. Sai số của phép đo có thể phân loại theo cách thể hiện bằng số, theo nguồn gây ra sai số hoặc theo qui luật xuất hiện của sai số.

Tiêu chí phân loại Theo cách thể hiện bằng số

Theo nguồn gây ra sai số

Theo qui luật xuất hiện của sai số

Loại sai số

- Sai số tuyệt đối.
- Sai số tương đối.
- Sai số phương pháp.
- Sai số thiết bị.
- Sai số chủ quan.
- Sai số bên ngoài.
- Sai số hệ thống.
- Sai số ngẫu nhiên.



<b>Tiêu chí phân loại</b>	<b>Theo cách thể hiện bằng số</b>	<b>Theo nguồn gây ra sai số</b>	<b>Theo qui luật xuất hiện của sai số</b>
Loại sai số	- Sai số tuyệt đối - Sai số tương đối	- Sai số phương pháp - Sai số thiết bị. - Sai số chủ quan. - Sai số bên ngoài.	- Sai số hệ thống. - Sai số ngẫu nhiên

*Bảng 2.1. Phân loại sai số của phép đo.*

\* **Sai số tuyệt đối  $\Delta X$** : là hiệu giữa đại lượng đo X và giá trị thực  $X_{th}$  :

$$\Delta X = X - X_{th}$$

\* **Sai số tương đối  $\gamma_X$**  : là tỉ số giữa sai số tuyệt đối và giá trị thực tính bằng

phần trăm: 
$$\gamma_X = \left| \frac{\Delta X}{\Delta_{th}} \right| \cdot 100(\%);$$

Vì  $X = X_{th}$  nên có thể có: 
$$\gamma_X \approx \left| \frac{\Delta X}{\Delta} \right| \cdot 100(\%)$$

Sai số tương đối đặc trưng cho chất lượng của phép đo.

**Độ chính xác của phép đo  $\varepsilon$**  : đại lượng nghịch đảo của sai số tương đối:

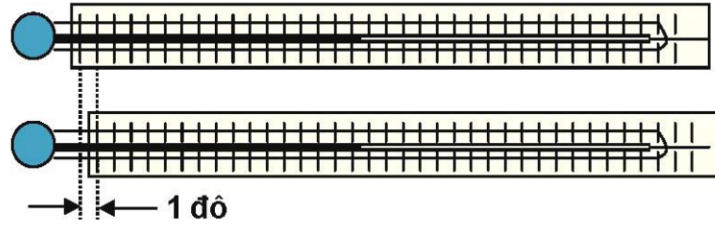
$$\varepsilon = \left| \frac{\Delta_{th}}{\Delta_X} \right| = \frac{1}{\gamma_X}$$

\* **Sai số hệ thống (systematic error)**: thành phần sai số của phép đo luôn không đổi hoặc thay đổi có qui luật khi đo nhiều lần một đại lượng đo.

*Qui luật thay đổi có thể là một phía (dương hay âm), có chu kỳ hoặc theo một qui luật phức tạp nào đó.*

*Ví dụ: sai số hệ thống không đổi có thể là: sai số do khắc độ thang đo (vạch khắc độ bị lệch...), sai số do hiệu chỉnh dụng cụ đo không chính xác (chỉnh đường tâm ngang sai trong dao động ký...)...*

*Sai số hệ thống thay đổi có thể là sai số do sự dao động của nguồn cung cấp (pin yếu, ổn áp không tốt...), do ảnh hưởng của trường điện từ...*



Hình 2.1. Sai số hệ thống do khắc vạch là 1 độ - khi đọc cần hiệu chỉnh thêm 1 độ.

### 1.2.3. Phương pháp tính sai số.

Dựa vào số lớn các giá trị đo được có thể xác định qui luật thay đổi của sai số ngẫu nhiên nhờ sử dụng các phương pháp toán học thống kê và lý thuyết xác suất. Nhiệm vụ của việc tính toán sai số ngẫu nhiên là chỉ rõ giới hạn thay đổi của sai số của kết quả đo khi thực hiện phép đo nhiều lần, như vậy phép đo nào có kết quả với sai số ngẫu nhiên vượt quá giới hạn sẽ bị loại bỏ.

- **Cơ sở toán học:** việc tính toán sai số ngẫu nhiên dựa trên giả thiết là sai số ngẫu nhiên của các phép đo các đại lượng vật lý thường tuân theo luật phân bố chuẩn (luật phân bố Gau-xơ-Gauss). Nếu sai số ngẫu nhiên vượt quá một giá trị nào đó thì xác suất xuất hiện sẽ hầu như bằng không và vì thế kết quả đo nào có sai số ngẫu nhiên như vậy sẽ bị loại bỏ.

#### - Các bước tính sai số ngẫu nhiên:

Xét n phép đo với các kết quả đo thu được là  $x_1, x_2, \dots, x_n$ .

\*. **Tính ước lượng kì vọng toán học  $m_X$  của đại lượng đo:**

$$m_X = \bar{X} = \frac{X_1 + X_2 + \dots + X_n}{n} = \sum_{i=1}^n \frac{x_i}{n},$$

chính là giá trị trung bình đại số của n kết quả đo.

\*. **Tính độ lệch của kết quả mỗi lần đo so với giá trị trung bình vi :**

$$v_i = x_i - \bar{X}$$

$v_i$  (còn gọi là sai số dư).

\*. **Tính khoảng giới hạn của sai số ngẫu nhiên:** được tính trên cơ sở đường phân bố chuẩn:  $\Delta = [\Delta_1, \Delta_2]$ , thường chọn:  $\Delta = [\Delta_1, \Delta_2]$  với:

$$\Delta_1 = \Delta_2 = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n v_i^2}{n(n-1)}},$$

với xác suất xuất hiện sai số ngẫu nhiên ngoài khoảng này là 34%.

## TRƯỜNG CAO ĐẲNG NGHỀ VIỆT - ĐỨC HÀ TỈNH

\* **Xử lý kết quả đo:** những kết quả đo nào có sai số dư vi nằm ngoài khoảng  $[\Delta_1, \Delta_2]$  sẽ bị loại.

### **1.2.4. Các phương pháp hạn chế sai số**

Một trong những nhiệm vụ cơ bản của mỗi phép đo chính xác là phải phân tích các nguyên nhân có thể xuất hiện và loại trừ sai số hệ thống. Mặc dù việc phát hiện sai số hệ thống là phức tạp, nhưng nếu đã phát hiện thì việc loại trừ sai số hệ thống sẽ không khó khăn.

\* **Việc loại trừ sai số hệ thống có thể tiến hành bằng cách:**

- **Chuẩn bị tốt trước khi đo:** phân tích lý thuyết; kiểm tra dụng cụ đo trước khi sử dụng; chuẩn bị trước khi đo; chỉnh "0" trước khi đo...

- **Quá trình đo có phương pháp phù hợp:** tiến hành nhiều phép đo bằng các phương pháp khác nhau; sử dụng phương pháp thế...

- **Xử lý kết quả đo sau khi đo:** sử dụng cách bù sai số ngược dấu (cho một lượng hiệu chỉnh với dấu ngược lại); trong trường hợp sai số hệ thống không

đổi thì có thể loại được bằng cách đưa vào một lượng hiệu chỉnh hay một hệ số hiệu chỉnh:

+ **Lượng hiệu chỉnh:** là giá trị cùng loại với đại lượng đo được đưa thêm vào kết quả đo nhằm loại sai số hệ thống.

+ **Hệ số hiệu chỉnh:** là số được nhân với kết quả đo nhằm loại trừ sai số hệ thống.

*Trong thực tế không thể loại trừ hoàn toàn sai số hệ thống. Việc giảm ảnh hưởng sai số hệ thống có thể thực hiện bằng cách chuyển thành sai số ngẫu nhiên.*

\* **Xử lý kết quả đo.**

*Như vậy sai số của phép đo gồm 2 thành phần: sai số hệ thống  $\theta$  - không đổi hoặc thay đổi có qui luật và sai số ngẫu nhiên  $\Delta$  - thay đổi một cách ngẫu nhiên không có qui luật. Trong quá trình đo hai loại sai số này xuất hiện đồng thời và sai số phép đo  $\Delta X$  được biểu diễn dưới dạng tổng của hai thành phần sai số đó:  $\Delta X = \theta + \Delta$ . Để nhận được các kết quả sai lệch ít nhất so với giá trị thực của đại lượng đo cần phải tiến hành đo nhiều lần và thực hiện gia công (xử lý) kết quả đo (các số liệu nhận được sau khi đo).*

Sau n lần đo sẽ có n kết quả đo  $x_1, x_2, \dots, x_n$  là số liệu chủ yếu để tiến hành gia công kết quả đo.

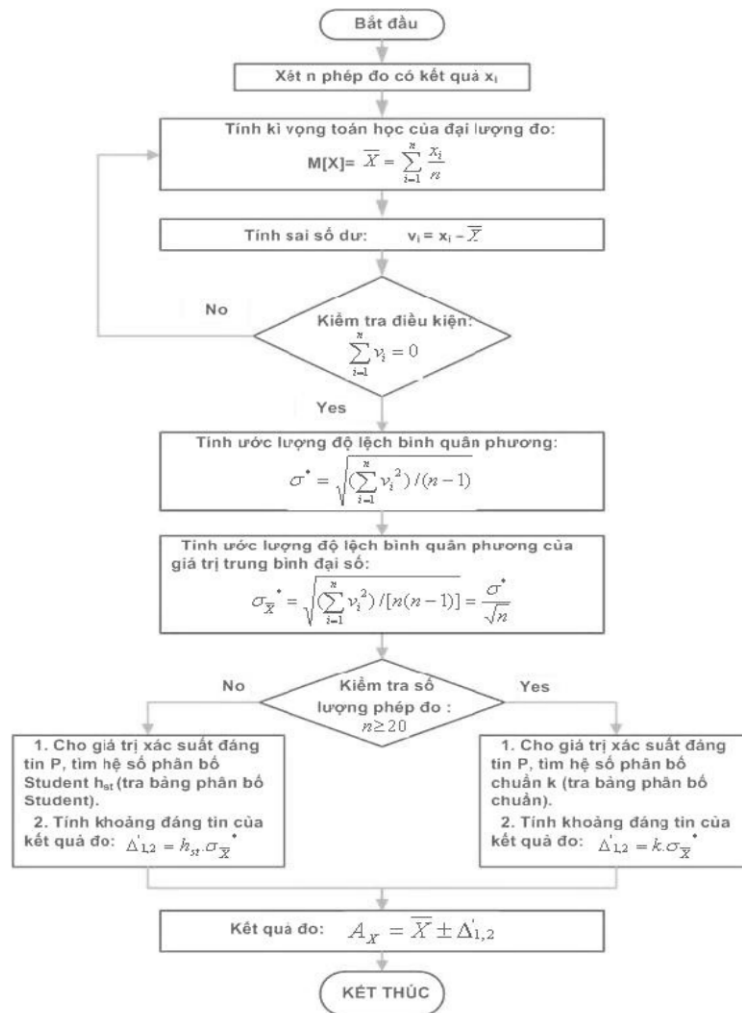
\* **Loại trừ sai số hệ thống.**

Việc loại trừ sai số hệ thống sau khi đo được tiến hành bằng các phương pháp.

- Sử dụng cách bù sai số ngược dấu

## TRƯỜNG CAO ĐẲNG NGHỀ VIỆT - ĐỨC HÀ TỈNH

- Đưa vào một lượng hiệu chỉnh hay một hệ số hiệu chỉnh



Hình 2.2. Lưu đồ thuật toán quá trình gia công kết quả đo.

## Phần II. CÁC LOẠI CƠ CẤU ĐO THÔNG DỤNG

### 2.1. KHÁI NIỆM VỀ CƠ CẤU ĐO.

Cơ cấu đo là thành phần cơ bản để tạo nên các dụng cụ và thiết bị đo lường ở dạng tương tự (analog) và hiện số Digitans.

- Ở dạng tương tự (analog) là dụng cụ đo biến đổi thẳng: đại lượng cần đo X như điện áp, dòng điện, tần số, góc pha... được biến đổi thành góc quay  $\alpha$  của phần động (so với phần tĩnh), tức là biến đổi từ năng lượng điện từ thành năng lượng cơ học.

Từ đó có biểu thức quan hệ:

**Modull: Đo lường điện**

## TRƯỜNG CAO ĐẲNG NGHỀ VIỆT - ĐỨC HÀ TỈNH

$\alpha = (X)$  với X là đại lượng điện.

Các cơ cấu chỉ thị này thường dùng trong các dụng cụ đo các đại lượng: dòng điện, điện áp, công suất, tần số, góc pha, điện trở... của mạch điện một chiều và xoay chiều tần số công nghiệp.

- Hiện số (Digitans) là cơ cấu chỉ thị số ứng dụng các kỹ thuật điện tử và kỹ thuật máy tính để biến đổi và chỉ thị đại lượng đo.

Có nhiều loại thiết bị hiện số khác nhau như: đèn sợi đốt, đèn điện tích, LED 7 thanh, màn hình tinh thể lỏng LCD, màn hình cảm ứng...

### 2.2. CÁC LOẠI CƠ CẤU ĐO.

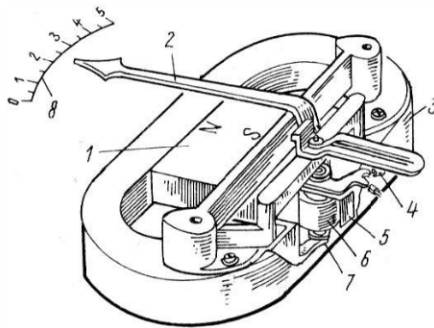
#### 2.2.1. Cơ cấu đo từ điện..

*\* lôgômét từ điện (Permanent Magnet Moving Coil).*

a) **Cấu tạo chung:** gồm hai phần cơ bản: phần tĩnh và phần động:

- **Phần tĩnh:** gồm: nam châm vĩnh cửu 1; mạch từ và cực từ 3 và lõi sắt 6 hình thành mạch từ kín. Giữa cực từ 3 và lõi sắt 6 có khe hở không khí đều gọi là khe hở làm việc, ở giữa đặt khung quay chuyển động.

- **Phần động:** gồm: khung dây quay 5 được quấn bằng dây đồng. Khung dây được gắn vào trục quay (hoặc dây căng, dây treo). Trên trục quay có hai lò xo cân 7 mắc ngược nhau, kim chỉ thị 2 và thang đo 8.



Hình 2.1. Cơ cấu chỉ thị từ điện.

b) **Nguyên lý làm việc chung:** khi có dòng điện chạy qua khung dây 5 (phần động), dưới tác động của từ trường nam châm vĩnh cửu 1 (phần tĩnh) sinh ra mômen quay  $M_q$  làm khung dây lệch khỏi vị trí ban đầu một góc  $\alpha$ . Mômen quay được tính theo biểu thức:

$$M_q = \frac{dW_e}{d\alpha} = B.S.W.I$$

với B: độ từ cảm của nam châm vĩnh cửu

## TRƯỜNG CAO ĐẲNG NGHỀ VIỆT - ĐỨC HÀ TỈNH

S: tiết diện khung dây

W: số vòng dây của khung dây

Tại vị trí cân bằng, mômen quay bằng mômen cản:

$$M_q = M_c = B.S.W.I = D.\alpha \Leftrightarrow \alpha = \frac{1}{D}.B.S.W.I = S_I.I$$

Với một cơ cấu chỉ thị cụ thể do B, S, W, D là hằng số nên góc lệch  $\alpha$  tỷ lệ bậc nhất với dòng điện I chạy qua khung dây.

**c) Các đặc tính chung:** từ biểu thức (5.1) suy ra cơ cấu chỉ thị từ điện có các đặc tính cơ bản sau:

- Chỉ đo được dòng điện một chiều.

- Đặc tính của thang đo đều.

- Độ nhạy  $S_I = \frac{1}{D}.B.S.W$  là hằng số

- **Ưu điểm:** độ chính xác cao; ảnh hưởng của từ trường ngoài không đáng kể (do từ trường là do nam châm vĩnh cửu sinh ra); công suất tiêu thụ nhỏ nên ảnh hưởng không đáng kể đến chế độ của mạch đo; độ cản dẫu tốt; thang đo đều (do góc quay tuyến tính theo dòng điện).

- **Nhược điểm:** chế tạo phức tạp; chịu quá tải kém (do cuộn dây của khung quay nhỏ); độ chính xác của phép đo bị ảnh hưởng lớn bởi nhiệt độ, chỉ đo dòng một chiều.

- **Ứng dụng:** cơ cấu chỉ thị từ điện dùng để chế tạo ampemét vônmet, ômmét nhiều thang đo và có dải đo rộng; độ chính xác cao (cấp 0,1 ÷ 0,5).

+ Chế tạo các loại ampemét, vônmet, ômmét nhiều thang đo, dải đo rộng.

+ Chế tạo các loại điện kế có độ nhạy cao có thể đo được: dòng đến 10-12A, áp đến 10 - 4V, đo điện lượng, phát hiện sự lệch điểm không trong mạch cần đo hay trong điện thế kế.

+ Sử dụng trong các mạch dao động ký ánh sáng để quan sát và ghi lại các giá trị tức thời của dòng áp, công suất tần số có thể đến 15kHz; được sử dụng để chế tạo các đầu rung.

+ Làm chỉ thị trong các mạch đo các đại lượng không điện khác nhau.

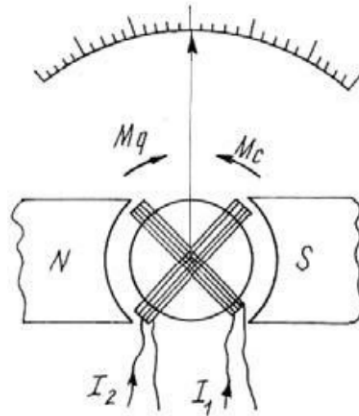
+ Chế tạo các dụng cụ đo điện tử tương tự: vônmet điện tử, tần số kế điện tử, pha kế điện tử...

+ Dùng với các bộ biến đổi khác như chỉnh lưu, cảm biến cặp nhiệt để có thể đo được dòng, áp xoay chiều.

## TRƯỜNG CAO ĐẲNG NGHỀ VIỆT - ĐỨC HÀ TỈNH

**d) Lôgômét từ điện:** là loại cơ cấu chỉ thị để đo tỉ số hai dòng điện, hoạt động theo nguyên lý giống cơ cấu chỉ thị điện từ, chỉ khác là không có lò xo cân mà thay bằng một khung dây thứ hai tạo ra mômen có hướng chống lại mômen quay của khung dây thứ nhất.

**Nguyên lý làm việc:** trong khe hở của từ trường của nam châm vĩnh cửu đặt phần động gồm hai khung quay đặt lệch nhau góc  $\delta$  ( $300 \div 900$ ). Hai khung dây gắn vào một trục chung. Dòng điện  $I_1$  và  $I_2$  đưa vào các khung dây bằng các dây dẫn không mômen.



Hình 2.2. Lôgômét từ điện

- Dòng  $I_1$  sinh ra mômen quay  $M_q$ :  $M_q = I_1 \cdot \frac{d\phi_1}{d\alpha}$

- Dòng  $I_2$  sinh ra mômen cân  $M_c$ :  $M_c = I_2 \cdot \frac{d\phi_2}{d\alpha}$

với  $\Phi_1, \Phi_2$ : từ thông của nam châm móc vòng qua các khung dây, thay đổi theo  $\alpha$ .

Dấu của  $M_q$  và  $M_c$  ngược nhau. Các giá trị cực đại của các mômen lệch nhau góc  $\delta$ .

Ở trạng thái cân bằng có:

$$M_q = M_c \Leftrightarrow I_1 \cdot \frac{d\phi_1}{d\alpha} = I_2 \cdot \frac{d\phi_2}{d\alpha} \Leftrightarrow \frac{I_1}{I_2} = \frac{\frac{d\phi_2}{d\alpha}}{\frac{d\phi_1}{d\alpha}} = \frac{f_1(\alpha)}{f_2(\alpha)} = f(\alpha)$$

với  $f_1(\alpha), f_2(\alpha)$  là các đại lượng xác định tốc độ thay đổi của từ thông móc vòng.

Từ biểu thức trên có:  $\alpha = F\left(\frac{I_1}{I_2}\right)$

**Đặc tính cơ bản:** góc lệch  $\alpha$  tỉ lệ với tỉ số của hai dòng điện đi qua các khung dây.

**Ứng dụng:** lôgômét từ điện được ứng dụng để đo điện trở, tần số và các đại lượng không điện.

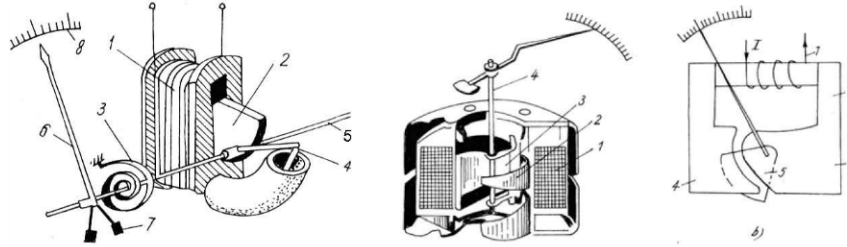
**2.2.2. Cơ cấu đo điện từ.**

**\* lôgômet điện từ.**

**a) Cấu tạo chung:** gồm hai phần cơ bản: phần tĩnh và phần động:

- **Phần tĩnh:** là cuộn dây 1 bên trong có khe hở không khí (khe hở làm việc).

- **Phần động:** là lõi thép 2 được gắn lên trục quay 5, lõi thép có thể quay tự do trong khe làm việc của cuộn dây. Trên trục quay có gắn: bộ phận cản dộ không khí 4, kim chỉ 6, đối trọng 7. Ngoài ra còn có lò xo cản 3, bảng khắc độ 8.



Hình 2.3. Cấu tạo chung của cơ cấu chỉ thị điện từ.

**b) Nguyên lý làm việc:** dòng điện I chạy vào cuộn dây 1 (phần tĩnh) tạo thành một nam châm điện hút lõi thép 2 (phần động) vào khe hở không khí với mômen quay:

$$M_q = \frac{dW_e}{d\alpha}, \text{ với } W_e = \frac{LI^2}{2}$$

với L là điện cảm của cuộn dây, suy ra:

$$M_q = \frac{1}{2} \cdot I^2 \frac{dL}{d\alpha}.$$

Tại vị trí cân bằng có:

$$M_q = M_c \Leftrightarrow \alpha = \frac{1}{2D} \frac{dL}{d\alpha} \cdot I^2$$

là phương trình thể hiện đặc tính của cơ cấu chỉ thị điện từ.

**c) Các đặc tính chung:**

- Góc quay  $\alpha$  tỉ lệ với bình phương của dòng điện, tức là không phụ thuộc vào chiều của dòng điện nên có thể đo trong cả mạch xoay chiều hoặc một chiều.

- Thang đo không đều, có đặc tính phụ thuộc vào tỉ số  $dL/d\alpha$  là một đại lượng phi tuyến.

- Cản dộ thường bằng không khí hoặc cảm ứng.

- **Ưu điểm:** cấu tạo đơn giản, tin cậy, chịu được quá tải lớn.

- **Nhược điểm:** độ chính xác không cao nhất là khi đo ở mạch một chiều sẽ bị sai



## TRƯỜNG CAO ĐẲNG NGHỀ VIỆT - ĐỨC HÀ TỈNH

số (do hiện tượng từ trễ, từ dư...); độ nhạy thấp; bị ảnh hưởng của từ trường ngoài (do từ trường của cơ cấu yếu khi dòng nhỏ).

**d) Ứng dụng:** thường được sử dụng để chế tạo các loại ampe mét, vôn mét trong mạch xoay chiều tần số công nghiệp với độ chính xác cấp 1÷2. Ít dùng trong các mạch có tần số cao.

### 2.2.3. Cơ cấu đo điện động.

#### \* lôgô mét điện động.

**a) Cấu tạo chung:** như hình 2.4: gồm hai phần cơ bản: phần tĩnh và phần động:

- **Phần tĩnh:** gồm: cuộn dây 1 (được chia thành hai phần nối tiếp nhau) để tạo ra từ trường khi có dòng điện chạy qua. Trục quay chui qua khe hở giữa hai phần cuộn dây tĩnh.

- **Phần động:** gồm một khung dây 2 đặt trong lòng cuộn dây tĩnh. Khung dây 2 được gắn với trục quay, trên trục có lò xo cân, bộ phận cản dũa và kim chỉ thị. Cả phần động và phần tĩnh được bọc kín bằng màn chắn để ngăn chặn ảnh hưởng của từ trường ngoài.

**b) Nguyên lý làm việc chung:** khi có dòng điện  $I_1$  chạy vào cuộn dây 1 (phần tĩnh) làm xuất hiện từ trường trong lòng cuộn dây. Từ trường này tác động lên dòng điện  $I_2$  chạy trong khung dây 2 (phần động) tạo nên mômen quay làm khung dây 2 quay một góc  $\alpha$ .

$$\text{Mômen quay được tính: } Mq = \frac{dW_e}{d\alpha}$$

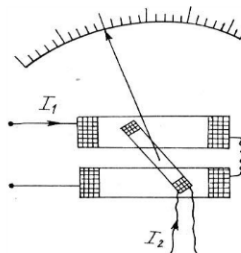
với:  $W_e$  là năng lượng điện từ trường. Có hai trường hợp xảy ra:

$$\text{- } I_1, I_2 \text{ là dòng điện một chiều: } \alpha = \frac{1}{D} \frac{dM_{12}}{d\alpha} \cdot I_1 \cdot I_2$$

với:  $M_{12}$  là hồ cảm giữa cuộn dây tĩnh và động.

$$\text{- } I_1 \text{ và } I_2 \text{ là dòng điện xoay chiều: } \alpha = \frac{1}{D} \frac{dM_{12}}{d\alpha} \cdot I_1 \cdot I_2 \cdot \cos\psi$$

với:  $\psi$  là góc lệch pha giữa  $I_1$  và  $I_2$ .



Hình 2.4. Cấu tạo của cơ cấu chỉ thị điện động

**c) Các đặc tính chung:**

- Có thể dùng trong cả mạch điện một chiều và xoay chiều.
- Góc quay  $\alpha$  phụ thuộc tích  $(I_1.I_2)$  nên thang đo không đều
- Trong mạch điện xoay chiều  $\alpha$  phụ thuộc góc lệch pha  $\psi$  giữa hai dòng điện nên có thể ứng dụng làm Oátmét đo công suất.
- *Ưu điểm cơ bản:* có độ chính xác cao khi đo trong mạch điện xoay chiều.
- *Nhược điểm:* công suất tiêu thụ lớn nên không thích hợp trong mạch công suất nhỏ. Chịu ảnh hưởng của từ trường ngoài, muốn làm việc tốt phải có bộ phận chắn từ. Độ nhạy thấp vì mạch từ yếu.

**d) Ứng dụng:** chế tạo các ampemét, vônmet, óatmét một chiều và xoay chiều tần số công nghiệp; các pha kế để đo góc lệch pha hay hệ số công suất  $\cos\phi$ .

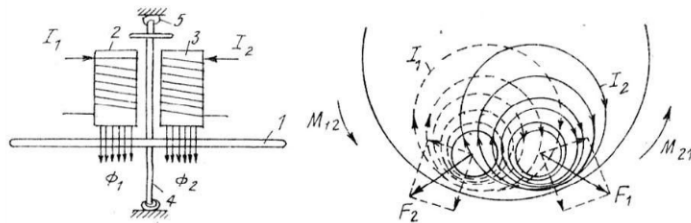
Trong mạch có tần số cao phải có mạch bù tần số (đo được dải tần đến 20KHz).

**2.2.4. Cơ cấu đo cảm ứng.**

**a) Cấu tạo chung:** như hình 2.5: gồm phần tĩnh và phần động.

- **Phần tĩnh:** các cuộn dây điện 2,3 có cấu tạo để khi có dòng điện chạy trong cuộn dây sẽ sinh ra từ trường móc vòng qua mạch từ và qua phần động, có ít nhất là 2 nam châm điện.

- **Phần động:** đĩa kim loại 1 (thường bằng nhôm) gắn vào trục 4 quay trên trụ 5.



Hình 2.5. Cơ cấu chỉ thị cảm ứng

**b) Nguyên lý làm việc chung:** dựa trên sự tác động tương hỗ giữa từ trường xoay chiều (được tạo ra bởi dòng điện trong phần tĩnh) và dòng điện xoáy tạo ra trong đĩa của phần động, do đó cơ cấu này chỉ làm việc với mạch điện xoay chiều:

Khi dòng điện  $I_1, I_2$  vào các cuộn dây phần tĩnh  $\rightarrow$  sinh ra các từ thông  $\Phi_1, \Phi_2$  (các từ thông này lệch pha nhau góc  $\psi$  bằng góc lệch pha giữa các dòng điện tương ứng), từ thông  $\Phi_1, \Phi_2$  cắt đĩa nhôm 1 (phần động)  $\rightarrow$  xuất hiện trong đĩa nhôm các sức điện động tương ứng  $E_1, E_2$  (lệch pha với  $\Phi_1, \Phi_2$  góc  $\pi/2$ )  $\rightarrow$  xuất hiện các dòng điện xoáy  $I_{x1}, I_{x2}$  (lệch pha với  $E_1, E_2$  góc  $\alpha_1, \alpha_2$ ).

## TRƯỜNG CAO ĐẲNG NGHỀ VIỆT - ĐỨC HÀ TỈNH

Các từ thông  $\Phi_1, \Phi_2$  tác động tương hỗ với các dòng điện  $I_{x1}, I_{x2} \rightarrow$  sinh ra các lực  $F_1, F_2$  và các mômen quay tương ứng  $\rightarrow$  quay đĩa nhôm (phần động). Mômen quay được tính:  $M_q = C \cdot f \cdot \phi_1 \phi_2 \sin \varphi$

với: C là hằng số

f là tần số của dòng điện I1, I2

$\psi$  là góc lệch pha giữa I1, I2

### ***c) Các đặc tính chung:***

- Điều kiện để có mômen quay là ít nhất phải có hai từ trường.
  - Mômen quay đạt giá trị cực đại nếu góc lệch pha  $\psi$  giữa I1, I2 bằng  $\pi/2$ .
  - Mômen quay phụ thuộc tần số của dòng điện tạo ra các từ trường.
  - Chỉ làm việc trong mạch xoay chiều.
  - Nhược điểm: mômen quay phụ thuộc tần số nên cần phải ổn định tần số.
- d) Ứng dụng:*** chủ yếu để chế tạo công tơ đo năng lượng; có thể đo tần số...

*Bảng A. Bảng tổng kết các loại cơ cấu chi thị cơ điện*

**Phần III. ĐO CÁC ĐẠI LƯỢNG ĐIỆN CƠ BẢN**

**3.1. ĐO ĐẠI LƯỢNG U, I.**

**3.1.1. Đo dòng điện.**

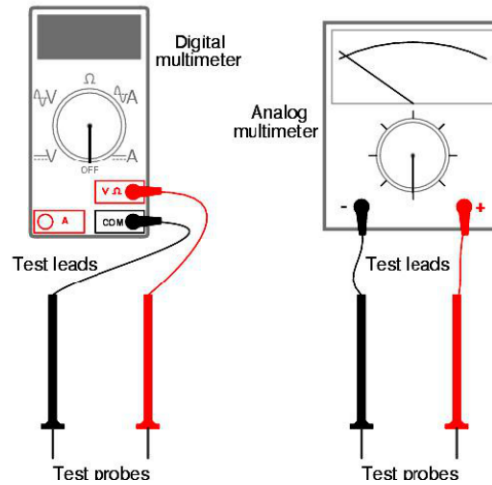
**\* Khái niệm chung**

Dụng cụ được sử dụng để đo dòng điện gọi là ampe kế hay ampemet

Ký hiệu là: A

Ampe kế có nhiều loại khác nhau, nếu chia theo kết cấu ta có:

- + Ampe kế từ điện
- + Ampe kế điện từ
- + Ampe kế điện động
- + Ampe kế nhiệt điện
- + Ampe kế bán dẫn



*Hình 1.1: Đồng hồ số và kim*

Nếu chia theo loại chỉ thị ta có:

- + Ampe kế chỉ thị số (Digital)
- + Ampe kế chỉ thị kim (kiểu tương tự /Analog)

Hình bên là hai loại đồng hồ vạn năng số và kim. Nếu chia theo tính chất của đại lượng đo, ta có:

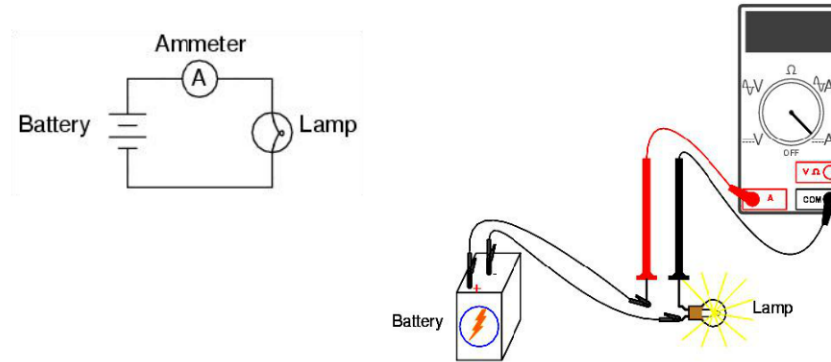
- + Ampe kế một chiều

## TRƯỜNG CAO ĐẲNG NGHỀ VIỆT - ĐỨC HÀ TỈNH

+ Ampe kế xoay chiều

**\* Yêu cầu đối với dụng cụ đo dòng điện là:**

- Công suất tiêu thụ càng nhỏ càng tốt, điện trở của ampe kế càng nhỏ càng tốt và lý tưởng là bằng 0.
- Làm việc trong một dải tần cho trước để đảm bảo cấp chính xác của dụng cụ đo
- Mắc ampe kế để đo dòng phải mắc nối tiếp với dòng cần đo (hình dưới)



Hình 1.2: Dùng đồng hồ số đo dòng điện

### **A. Ampe kế một chiều**

Ampe kế một chiều được chế tạo dựa trên cơ cấu chỉ thị từ điện. Như đã biết, độ lệch của kim tỉ lệ thuận với dòng chạy qua cuộn động nhưng độ lệch kim được tạo ra bởi dòng điện rất nhỏ và cuộn dây quấn bằng dây có tiết diện bé nên khả năng chịu dòng rất kém. Thông thường, dòng cho phép qua cơ cấu chỉ trong khoảng 10 - 4 đến 10-2 A; điện trở của cuộn dây từ 20Ω đến 2000Ω với cấp chính xác 1,1; 1; 0,5; 0,2; và 0,05.

Để tăng khả năng chịu dòng cho cơ cấu (cho phép dòng lớn hơn qua) người ta mắc thêm điện trở sun song song với cơ cấu chỉ thị có giá trị như sau:

$$R_s = \frac{R_{CT}}{n-1} \text{ với } n = \frac{I}{I_{CT}} \text{ gọi là hệ số mở rộng thang đo của ampe kế}$$

Hình 3.3: Mắc thêm điện trở sun song song với cơ cấu chỉ thị

$I$  là dòng cần đo và  $I_{CT}$  là dòng cực đại mà cơ cấu chịu đựng được (độ lệch cực đại của thang đo)

## TRƯỜNG CAO ĐẲNG NGHỀ VIỆT - ĐỨC HÀ TỈNH

**Chú ý:** Khi đo dòng nhỏ hơn 30A thì điện trở sun nằm ngay trong vỏ của ampe kế còn khi đo dòng lớn hơn thì điện trở sun như một phụ kiện kèm theo. Khi ampe kế có nhiều thang đo người ta mắc sun như sau:

Việc tính điện trở sun ứng với dòng cần đo được xác định theo công thức như trên nhưng với n khác nhau. ở hình a)

$$R_{S1} = R_1 = \frac{r_{ct} + R_{S2} + R_{S3}}{n_1 - 1} \quad \text{Với } n_1 = \frac{I_1}{I_{CT}}; R_{S2} = R_1 + R_2 = \frac{r_{ct} + R_3}{n_2 - 1} \quad \text{Với } n_2 = \frac{I_2}{I_{CT}}$$

$$R_{S3} = R_1 + R_2 + R_3 = \frac{r_{ct}}{n_3 - 1} \quad \text{Với } n_3 = \frac{I_3}{I_{CT}}$$

Ở hình b:  $R_{S1} = \frac{r_{ct}}{n_1 - 1} \quad \text{Với } n_1 = \frac{I_1}{I_{CT}}; R_{S2} = \frac{r_{ct}}{n_2 - 1} \quad \text{Với } n_2 = \frac{I_2}{I_{CT}}$

$$R_{S3} = \frac{r_{ct}}{n_3 - 1} \quad \text{Với } n_3 = \frac{I_3}{I_{CT}}; R_{S4} = \frac{r_{ct}}{n_4 - 1} \quad \text{Với } n_4 = \frac{I_4}{I_{CT}}$$

**Chú ý:** điện trở sun được chế tạo bằng Manganin có độ chính xác cao hơn độ chính xác của cơ cấu đo ít nhất là 1 cấp. Do cuộn dây động của cơ cấu chỉ thị được quấn bằng dây đồng mảnh, điện trở của nó thay đổi đáng kể khi nhiệt độ của môi trường thay đổi và sau một thời gian lumen việc bản thân dòng điện chạy qua cuộn dây cũng tạo ra nhiệt độ. Để giảm ảnh hưởng của sự thay đổi điện trở cuộn dây khi nhiệt độ thay đổi, người ta mắc thêm điện trở bù bằng Manganin hoặc Constantan với sơ đồ như sau:

Dưới đây là ví dụ thực tế của một sơ đồ mắc điện trở sun của một dụng cụ đo cả dòng và áp

**B. Ampemet xoay chiều**

Để đo cường độ dòng điện xoay chiều tần số công nghiệp người ta thường sử dụng ampemet từ điện chỉnh lưu, ampemet điện từ, và ampemet điện động.

**C. Ampemet chỉnh lưu**

Là dụng cụ đo dòng điện xoay chiều kết hợp giữa cơ cấu chỉ thị từ điện và mạch chỉnh lưu bằng diode.

Biến áp sử dụng là loại biến áp dòng có số vòng dây của cuộn sơ cấp và thứ cấp là  $W_1$  và  $W_2$ . Khi đó tỉ số dòng thứ cấp trên dòng sơ cấp được tính bằng:

Kim chỉ thị dừng ở vị trí chỉ dòng trung bình qua cuộn dây động.  $R_L$  được chọn để gánh phần dòng dư thừa giữa  $I_{2tb}$  và  $I_{ct}$

Mối quan hệ giữa dòng đỉnh  $I_p$ , dòng trung bình  $I_{trb}$  và dòng trung bình bình phương  $I_{rms}$  của sơ đồ mạch chỉnh lưu cầu như sau:

$$I_{tb} = 0,637.I_p$$

$$I_{rms} = \frac{I_p}{\sqrt{2}} = 0,707.I_p$$

$$I_{rms} = 1,11.I_{tb}$$

**Chú ý:** Giá trị dòng mà kim chỉ thị dừng là giá trị dòng trung bình nhưng thang khắc độ thường theo giá trị rms.

*Hình a : Ampemet chỉnh lưu*

**Chú ý:** Nói chung các ampe kế chỉnh lưu có độ chính xác không cao (từ 1 tới 1,5) do hệ số chỉnh lưu thay đổi theo nhiệt độ và thay đổi theo tần số. Có thể sử dụng sơ đồ bù sai số đo nhiệt và đo tần số cho ampe kế chỉnh lưu như sau:

*Hình b: Ampe kế chỉnh lưu*

#### **D. Ampemet điện động**

Thường được sử dụng để đo dòng điện ở tần số 50Hz và cao hơn (400 – 2.000Hz) với độ chính xác khá cao (cấp 0,5 – 0,2).

Khi dòng điện đo nhỏ hơn 0,5A người ta mắc nối tiếp cuộn tĩnh và cuộn động còn khi dòng lớn hơn 0,5A thì mắc song song như (hình sau).

*Hình c: Ampemet điện động*

Trong đó các điện trở và cuộn dây ( $L_3, R_3$ ), ( $L_4, R_4$ ) là để bù sai số do nhiệt (thường làm bằng manganin hoặc constantan) và sai số do tần số (để dòng qua hai cuộn tĩnh và cuộn động trùng pha nhau).



## TRƯỜNG CAO ĐẲNG NGHỀ VIỆT - ĐỨC HÀ TỈNH

Do độ lệch của dụng cụ đo điện động tỉ lệ với  $I_2$  nên máy đo chỉ giá trị rms. Giá trị rms của dòng xoay chiều có tác dụng như trị số dòng một chiều tương đương nên có thể đọc thang đo của dụng cụ như dòng một chiều hoặc xoay chiều rms.

### **E. Ampemet điện từ**

Là dụng cụ đo dòng điện dựa trên cơ cấu chỉ thị điện từ. Mỗi cơ cấu điện từ được chế tạo với số ampe vòng xác định ( $I.W$  là một hằng số)

Khi đo dòng có giá trị nhỏ người ta mắc các cuộn dây nối tiếp và khi đo dòng lớn người ta mắc các cuộn dây song song.

*Hình d: Ampemet điện từ*

### **G. Ampemet nhiệt điện**

Là dụng cụ kết hợp giữa chỉ thị từ điện và cặp nhiệt điện. Cặp nhiệt điện (hay còn gọi là cặp nhiệt ngẫu) gồm 2 thanh kim loại khác loại được hàn với nhau tại một đầu gọi là điểm làm việc (nhiệt độ  $t_1$ ), hai đầu kia nối với milivonkế gọi là đầu tự do (nhiệt độ  $t_0$ ).

Khi nhiệt độ đầu làm việc  $t_1$  khác nhiệt độ đầu tự do  $t_0$  thì cặp nhiệt sẽ sinh ra sức điện động

$$E_t = k_1 \cdot \theta^0$$

$$\theta^0 = t_1 - t_0$$

Khi dùng dòng  $I_x$  để đốt nóng đầu  $t_1$  thì:

$$\theta^0 = k_2 \cdot I_x^2$$

$$\Rightarrow E_t = k_1 \cdot k_2 \cdot I_x^2 = k_x^2$$

Như vậy kết quả hiển thị trên milivon kế tỉ lệ với dòng cần đo

*Hình e: Ampemet nhiệt điện*

Vật liệu để chế tạo cặp nhiệt điện có thể là sắt – constantan; đồng – constantan; crom – alumen và platin – rodi

Ampemet nhiệt điện có sai lớn do tiêu hao công suất, khả năng chịu quá tải kém nhưng có thể đo ở dải tần rất rộng từ một chiều tới hàng MHz.

Thông thường để tăng độ nhạy của cặp nhiệt, người ta sử dụng một bộ khuếch đại áp như sơ đồ dưới đây:

J1, J2 là 2 đầu đo nhiệt

**Chú ý:** Để đo giá trị điện áp của nguồn xoay chiều người ta cũng làm như trên vì khi đó nhiệt độ đo được tỉ lệ với dòng qua điện trở nhiệt mà dòng này lại tỉ lệ với áp trên hai đầu điện trở, do vậy cũng xác định được giá trị của điện áp thông qua giá trị nhiệt độ. Đây chính là nguyên tắc để chế tạo Vôn kế nhiệt điện.

### **3.1.2. Đo điện áp.**

#### **a. Mở đầu**

Dụng cụ dùng để đo điện áp gọi là Vôn kế hay Vôn met (Voltmeter)

Ký hiệu là: V

Khi đo điện áp bằng Vôn kế thì Vôn kế luôn được mắc song song với đoạn mạch cần đo như hình dưới đây:

Hình a: Mạch đo điện áp

- Khi chưa mắc Vôn kế vào điện áp rơi trên tải là:

$$U_t = \frac{E}{R_t + R_{ng}} \cdot R_t$$

- Khi mắc Vôn kế vào điện áp rơi trên tải là:

$$U_v = \frac{E}{R_e + R_{ng}} \cdot R_e$$

$$R_e = R_v // R_t = \frac{R_v \cdot R_t}{R_v + R_t}$$

Vậy sai số của phép đo điện áp bằng Vôn kế là:

$$\gamma_u = \frac{U_t - U_v}{U_t} = 1 - \frac{U_v}{U_t} = 1 - \frac{1}{1 + \frac{R_t \cdot R_{ng}}{R_v \cdot (R_t + R_{ng})}}$$

Như vậy, muốn sai số nhỏ thì yêu cầu  $R_v$  phải càng lớn càng tốt và lý tưởng là  $R_v \approx \infty$ ?

Kết quả đo nếu muốn tính chính xác thì phải sử dụng công thức:

$$U_v = (1 + \gamma_u) \cdot U_t$$

Để đo điện áp của một phần tử nào đó người ta mắc Vôn kế như hình dưới:

Hình b: Dùng đồng hồ số đo điện áp

### a. Vôn kế một chiều

\* Nguyên tắc hoạt động

## TRƯỜNG CAO ĐẲNG NGHỀ VIỆT - ĐỨC HÀ TỈNH

Độ lệch của dụng cụ đo TĐNCVC tỉ lệ với dòng qua cuộn dây động. Dòng qua cuộn dây tỉ lệ với điện áp trên cuộn dây nên thang đo của máy đo TĐNCVC có thể được chia để chỉ điện áp. Nghĩa là, Vôn kế chỉ là ampe kế dòng rất nhỏ với điện trở rất lớn. Điện áp định mức của chỉ thị vào khoảng 50 – 75mV nên cần nối tiếp nhiều điện trở phụ (còn gọi là điện trở nhân) với chỉ thị để làm tăng khoảng đo của Vôn kế. Sơ đồ mắc như sau:

Trong đó:

$$I_{CT} = \frac{U_{CT}}{R_{CT}} = \frac{U_X}{R_p + R_{CT}}$$
$$\Rightarrow (R_p + R_{CT}).U_{CT} = R_{CT}.U_X$$
$$\Rightarrow R_p = R_{CT} \cdot \frac{U_X - U_{CT}}{U_{CT}} = R_{CT} \left( \frac{U_X}{U_{CT}} - 1 \right) = (m - 1).R_{CT}$$

với  $m = \frac{U_X}{U_{CT}}$  gọi là hệ số mở rộng thang đo về áp

Vôn kế nhiều thang đo thì các điện trở phụ được mắc như sau:

Sơ đồ mắc nối tiếp:

Trong đó:

Hoặc sơ đồ mắc song song:

***Nhận xét:*** Thang đo có vạch chia đều (tính chất của cơ cấu từ điện)

***b. Vôn kế xoay chiều***

***\* Vôn kế từ điện đo điện áp xoay chiều***

Sử dụng cơ cấu từ điện thì dụng cụ có tính phân cực và phải mắc đúng sao cho độ lệch dương (trên thang đo). Khi dòng xoay chiều có tần số rất thấp chạy qua dụng cụ TĐNCVC thì kim có xu hướng chỉ theo giá trị tức thời của dòng xoay chiều. Như vậy, khi giá trị dòng tăng theo chiều + thì kim cũng tăng tới giá trị cực đại sau đó giảm tới 0 và xuống bán kỳ âm thì kim sẽ bị lệch ngoài thang đo. Trường hợp này xảy ra khi tần số của dòng xoay chiều cỡ 0,1Hz hoặc thấp hơn.

Khi dòng xoay chiều có tần số công nghiệp (50/60Hz) hoặc cao hơn thì cơ cấu làm nhụt vệt quán tính chuyển động của cơ cấu động (toàn máy đo) không biến đổi theo mức dòng tức thời mà thay vào đó kim của dụng cụ sẽ dừng ở vị trí trung bình của dòng chạy qua cuộn động. Với sóng sin thuần túy kim lệch sẽ ở vị trí zero mặc dù dòng Irms có thể có giá trị khá lớn vệt có khả năng gây hỏng dụng cụ.

Do đó, để sử dụng dụng cụ TĐNCVC làm thành dụng cụ đo xoay chiều người ta phải sử dụng các bộ chỉnh lưu (*nửa sóng hoặc toàn sóng*) để các giá trị của dòng chỉ gây ra độ lệch dương.

***c. Vôn kế điện từ***

Là dụng cụ để đo điện áp xoay chiều tần số công nghiệp. Cuộn dây tĩnh có số vòng dây rất lớn từ 1000 – 6000 vòng. Để mở rộng thang đo người ta mắc nối tiếp với cuộn dây các điện trở phụ.

## TRƯỜNG CAO ĐẲNG NGHỀ VIỆT - ĐỨC HÀ TỈNH

Các tụ C được mắc song song với các điện trở phụ để bù sai số do tần số khi tần số lớn hơn tần số công nghiệp.

### ***d. Vôn kế điện động***

Cuộn kích được chia làm 2 phần nối tiếp nhau và nối tiếp với cuộn động. Độ lệch của kim chỉ thị tỉ lệ với  $I_2$  nên kim dừng ở giá trị trung bình của  $I_2$  tức giá trị tức thời rms.

### ***\* Đặc điểm của Vôn kế điện động***

- + Tác dụng của dòng rms giống như trị số dòng một chiều tương đương nên có thể khác độ theo giá trị một chiều và dùng cho cả xoay chiều
- + Dụng cụ điện động thường đòi hỏi dòng nhỏ nhất là 100mA cho ĐLTT nên Vôn kế điện động có độ nhạy thấp hơn nhiều so với Vôn kế từ điện (chỉ khoảng 10Ω/V)
- + Để giảm thiểu sai số chỉ nên dùng ở khu vực tần số công nghiệp

### ***e. Đo điện áp bằng phương pháp so sánh***

#### ***\* Cơ sở lý thuyết***

Các dụng cụ đo điện đã trình bày ở trên sử dụng có cấu cơ điện để chỉ thị kết quả đo nên cấp chính xác của dụng cụ không vượt quá cấp chính xác của chỉ thị. Để đo điện áp chính xác hơn người ta dùng phương pháp bù (so sánh với giá trị mẫu).

Nguyên tắc cơ bản như sau:

- +  $U_k$  là điện áp mẫu với độ chính xác rất cao được tạo bởi dòng điện  $I$  ổn định đi qua điện trở mẫu  $R_k$ . Khi đó:

$$U_k = I \cdot R_k$$

- + Chỉ thị là thiết bị phát hiện sự chênh lệch giữa điện áp mẫu  $U_k$  và điện áp cần đo  $U_x$

$$\Delta U = U_x - U_k$$

Khi  $\Delta U \neq 0$  điều chỉnh con chạy của điện trở mẫu  $R_k$  sao cho  $U_x = U_k$ , nghĩa là làm cho  $\Delta U = 0$ ; chỉ thị chỉ zero.

+ Kết quả được đọc trên điện trở mẫu đã được khắc độ theo thứ nguyên điện áp.

**Chú ý:** Các dụng cụ bù điện áp đều có nguyên tắc hoạt động như trên nhưng có thể khác nhau phần tạo điện áp mẫu  $U_k$

***g. Điện thế kế một chiều***

***\* Sơ đồ mạch:***

***Nguyên tắc hoạt động của sơ đồ a)***

- + Xác định dòng công tác  $I_p$  nhờ nguồn điện áp  $U_0$ ,  $R_{đc}$  và Ampe kế.
- + Giữ nguyên giá trị của  $I_p$  trong suốt thời gian đo
- + Điều chỉnh con chạy của điện trở mẫu  $R_k$  cho đến khi chỉ thị chỉ zero
- + Đọc kết quả trên điện trở mẫu, khi đó:  $U_x = U_k = I_p \cdot R_k$

Trong sơ đồ a, vì sử dụng Ampe kế nên độ chính xác của điện thế kế không thể cao hơn độ chính xác của Ampe kế.

Người ta cải tiến mạch bằng cách sử dụng nguồn pin mẫu ( $E_N$ ) và điện trở mẫu ( $R_k$ ) có độ chính xác cao như ở hình b.

***\* Nguyên tắc hoạt động của sơ đồ b)***

- + Khi K ở vị trí 1, điều chỉnh  $R_{đc}$  để chỉ thị chỉ zero.

## TRƯỜNG CAO ĐẲNG NGHỀ VIỆT - ĐỨC HÀ TỈNH

+ Giữ nguyên  $R_{dc}$  và chuyển K sang vị trí 2, điều chỉnh con trượt của điện trở mẫu để chỉ thị về zero.

**Chú ý:** trên thực tế, người ta thường sử dụng điện thế kế một chiều tự động cân bằng (để đo sức điện động của các cặp nhiệt ngẫu đo nhiệt độ)

*Sơ đồ mạch của điện thế kế một chiều tự động cân bằng*

Trong đó:

$R_N$ ,  $E_N$  là điện trở và nguồn điện mẫu có độ chính xác cao

$U_0$  là nguồn điện áp ổn định

Động cơ thuận nghịch hai chiều để điều chỉnh con chạy của  $R_p$  và  $R_{dc}$

Bộ điều chế làm nhiệm vụ biến đổi điện áp một chiều ( $\Delta U$ ) thành điện áp xoay chiều để điều khiển động cơ

### **Hoạt động:**

Trước khi đo, khóa K được đặt ở vị trí KT (kiểm tra) khi đó dòng  $I_2$  qua điện trở mẫu  $R_N$  và  $\Delta U = E_N - I_2 R_N$

$\Delta U$  qua bộ điều chế để chuyển thành tín hiệu xoay chiều (role được điều khiển bởi nam châm điện nên có tần số đóng/cắt phụ thuộc vào dòng chạy trong nam châm điện). Tín hiệu xoay chiều này thường có giá trị rất nhỏ nên phải qua bộ khuếch đại để



## TRƯỜNG CAO ĐẲNG NGHỀ VIỆT - ĐỨC HÀ TỈNH

tăng tới giá trị đủ lớn có thể điều khiển động cơ thuận nghịch hai chiều. Động cơ này quay và kéo con chạy của  $R_{dc}$  để làm thay đổi  $I_2$  tới khi  $\Delta U = 0$ .

Đồng thời nó cũng kéo con trượt của  $R_p$  về vị trí cân bằng.

$$+ \text{ Khi } K \text{ ở vị trí đo ta có: } \Delta U = E_x - U_k$$

$$\text{ với } U_k = I_1 (R_1 + R_{p1}) - I_2 \cdot R_2$$

Nếu  $E_x > U_k$  thì động cơ sẽ kéo con chạy để tăng  $U_k$  tới khi  $\Delta U = 0$

Nếu  $E_x < U_k$  thì động cơ sẽ kéo con chạy để giảm  $U_k$  tới khi  $\Delta U = 0$

Vị trí của con chạy và kim chỉ sẽ xác định giá trị của  $E_x$ . Ưu điểm của điện thế kế một chiều tự động cân bằng là tự động trong quá trình đo và có khả năng tự ghi kết quả trong một thời gian dài.

### ***h. Điện thế kế xoay chiều***

Nguyên tắc hoạt động chung giống như điện thế kế một chiều, nghĩa là, cũng so sánh điện áp cần đo với điện áp rơi trên điện trở mẫu khi có dòng công tác chạy qua. Tuy nhiên, do không sử dụng pin mẫu mà sử dụng dòng xoay chiều nên việc điều chỉnh cho  $U_x$  và  $U_k$  bằng nhau là rất phức tạp.

Muốn  $U_x$  và  $U_k$  cân bằng nhau thì phải thoả mãn 3 điều kiện:

- +  $U_x$  và  $U_k$  cùng tần số
- +  $U_x$  và  $U_k$  bằng nhau về trị số
- +  $U_x$  và  $U_k$  ngược pha nhau (180°)

### ***i. Vôn kế số***

Vôn kế số là dụng cụ chỉ thị kết quả bằng con số mà không phụ thuộc vào cách đọc của người đo. Tùy thuộc vào phương pháp biến đổi người ta phân thành:

- + Vôn kế số chuyển đổi thời gian
- + Vôn kế số chuyển đổi tần số
- + Vôn kế số chuyển đổi bù

**3.2. ĐO CÁC ĐẠI LƯỢNG R, L, C.**

**3.2.1. Đo điện trở.**

**A. Đo điện trở bằng phương pháp gián tiếp**

**a) Đo điện trở bằng vôn mét và am pe mét**

Sơ đồ đo điện trở R dựa trên định luật Ôm. Mặc dù có thể sử dụng các dụng cụ đo chính xác nhưng giá trị điện trở nhận được bằng phương pháp này có thể có sai số lớn. tùy theo cách mắc am pe mét và vôn mét mà giá trị  $R_x$  đo được sẽ khác nhau

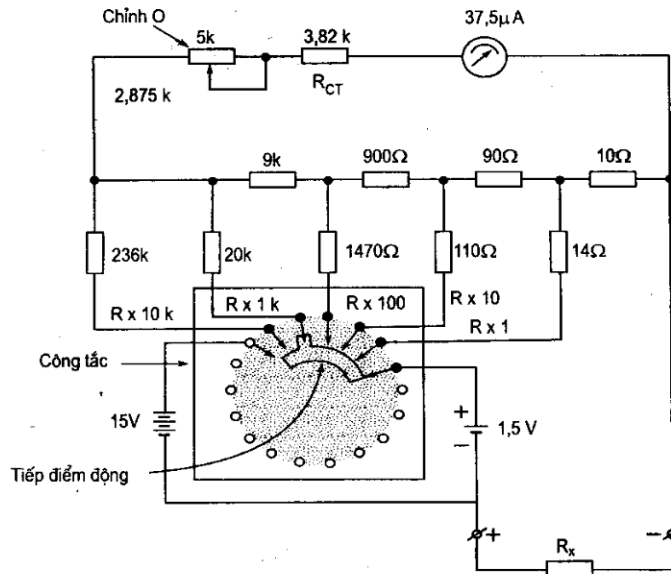
**b. Đo điện trở bằng Ômmét**

**\*Ômmét mắc song song**

Là loại dụng cụ đo trong  $R_x$  mắc song song với cơ cấu chỉ thị hình 5-5a. Ưu điểm của Ômmét loại này là có thể đo được điện trở tương đối nhỏ (cỡ  $k\Omega$  trở lại) và điện trở vào của ômmét  $R_\Omega$  nhỏ khi dòng điện từ nguồn cung cấp không lớn lắm. Do  $R_x$  mắc song song với cơ cấu chỉ thị nên khi  $R_x = \infty$  (chưa có  $R_x$ ) dòng điện qua chỉ thị là lớn nhất ( $I_{CT} = I_{CTmax}$ ) với  $R_x = 0$  dòng điện qua chỉ thị  $I_{CT} \approx 0$ . Thang đo được khắc độ giống như vôn mét hình 5-5b.

Điều chỉnh thang đo của ômmét trong trường hợp nguồn cung cấp thay đổi cũng dùng một biến trở  $R_M$  và điều chỉnh ứng với  $R_x = \infty$ . Xác  $R_p$  và  $R_M$  giống như sơ đồ ômmét mắc nối tiếp.

**\*Ômmét nhiều thang đo.**



Hình 5 -6a . Ômmét nhiều thang đo

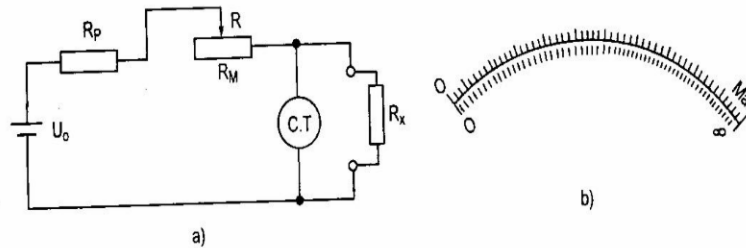
Ômmét

## TRƯỜNG CAO ĐẲNG NGHỀ VIỆT - ĐỨC HÀ TỈNH

nhiều thang đo thực hiện theo nguyên tắc chuyển từ giới hạn đo này sang giới hạn đo khác bằng cách thay đổi điện trở của ômmét với một

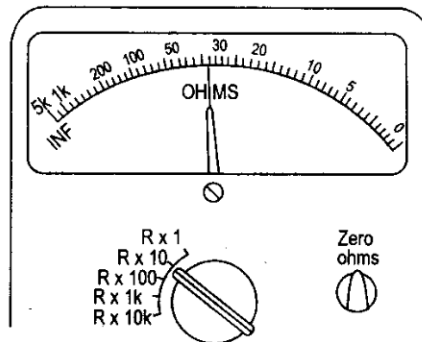
Số lần nhất định sao cho khi  $R_x = 0$  kim chỉ thị vẫn đảm bảo lệch thang đo (nghĩa là dòng qua cơ cấu đo bằng giá trị định mức đã chọn).

Để mở rộng giới hạn đo của ômmét có thể thực hiện bằng cách dùng nhiều nguồn cung cấp và các điện trở phân dòng (điện trở sun) cho các thang cấp với các điện trở sun tương ứng có chất lượng tốt.



Hình 5 - 5. Ômmét chỉ thị mắc song song

Thiết bị có dòng chỉ thị định mức  $I_{CT} = 37.5 \mu A$ , điện trở của chỉ  $R_{TC} = 3,82 k\Omega$ . Điều chỉnh zêrô là một biến trở  $5 k\Omega$  (với mức bình thường). Pin 1,5 V dùng cho tất cả các khoảng đo  $R_{x1}$ ;  $R_{x100}$  và  $R_{x1k}$  pin 15V dùng cho khoảng đo  $R_{x10k}$ .  $R_x$  được mắc vào các đầu ra của mạch (+,-).



Hình 5 - 6b. Núm điều chỉnh ômmét

Công tắc đo có phần tiếp xúc động có thể xoay từng nấc cùng chiều hoặc ngược chiều kim đồng hồ. Hình 5-6b minh họa ômmét thường dùng và núm điều chỉnh ômmét.

### **c. Cầu đo điện trở:**

Cầu đo điện trở thường được chia thành hai loại: Cầu đơn và cầu kép (cầu wheatstone và cầu Kelvin)

**\*Cầu đơn:( cầu Wheatstone)**

Cầu đơn là một thiết bị dùng để đo điện trở rất chính xác. Mạch cầu hình 5-7 gồm hai điện trở cố định  $R_2$  và  $R_3$  và điện trở điều chỉnh được  $R_1$ , điện trở cần đo  $R_x$  và điện kế chỉ không(CT). Cầu được cung cấp bằng nguồn điện một chiều  $U_0$ . Các điện trở  $R_1, R_2, R_3$  được chế tạo bằng điện trở Manganin có độ ổn định và độ chính xác cao.

Để xác định điện trở chưa biết  $R_x$  người ta điều chỉnh biến trở  $R_1$  cho tới khi điện kế chỉ zêrô, lúc đó cầu đang ở chế độ cân bằng nghĩa là điện kế tại hai điểm  $V_a=V_b(U_{ab}=0)$  do dòng điện không đi qua điện kế nên  $I_1$  sẽ chạy qua  $R_1, R_2$  và  $I_2$  chạy qua  $R_3, R_x$ , ta có:

$$I_1 R_2 = I_2 R_3 \quad (5-12)$$

$$I_1 R_1 = I_2 R_x \quad (5-13)$$

Chia biểu thức (5-12) cho(5-13) ta được

$$\frac{I_1 R_2}{I_1 R_1} = \frac{I_2 R_3}{I_2 R_x} \text{ hay } \frac{R_2}{R_1} = \frac{R_3}{R_x} \text{ và } R_x R_2 = R_1 R_3$$

Từ đó tính được điện trở chưa biết

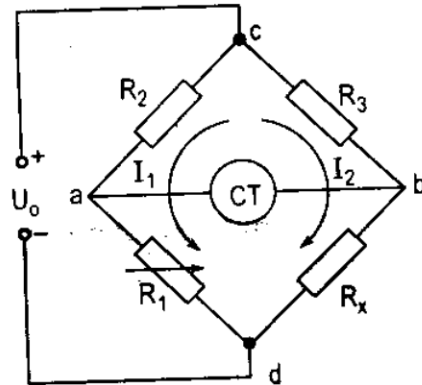
$$R_x = \frac{R_3}{R_2} R_1$$

Với  $R_3$  và  $R_2$  là các điện trở cố định

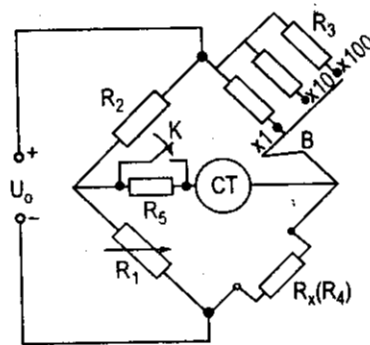
do đó tỷ số  $\frac{R_3}{R_2} = k$ ; là hệ số nhân. Nếu thay

đổi điện trở  $R_3$  bằng một số các điện trở có giá trị lớn hơn nhau 10 lần

Và giữ nguyên điện trở  $R_2$  thì ta sẽ có các hệ số nhân khác nhau. Nên có thể mở rộng thang đo của cầu như hình 5-8



**Hình 5 - 7. Cầu đơn**



**Hình 5 - 8. Cầu hộp**

Điện trở  $R_5$  (hình 5-8) dùng để điều chỉnh độ nhạy cảm của chỉ thị chỉ không. Trước khi đo khóa K được mở ra để chỉnh thô (bảo vệ quá dòng điện cho chỉ thị). Khi

## TRƯỜNG CAO ĐẲNG NGHỀ VIỆT - ĐỨC HÀ TỈNH

cầu đã tương đối cân bằng người ta đóng khóa K lại để chỉnh tinh cho đến khi cầu cân bằng hoàn toàn.

Độ chính xác của cầu cân bằng phụ thuộc vào độ nhạy của chỉ thị và điện áp cung cấp, vì vậy chỉ thị không cần có độ nhạy cảm cao, nguồn cung cấp đảm bảo dòng qua chỉ thị không vượt quá dòng cho phép Ngoài cầu hộp như hình 5-8 người ta còn sử dụng cầu biến trở (hình 5-9).

Trong cầu biến trở, điện trở  $R_2$  và  $R_3$  là một biến trở có thể thay đổi được trị số,  $R_1$  là một dãy các điện trở có trị số lớn hơn nhau 10 lần. Khi đó, điện trở  $R_x$  được mắc vào mạch và điều chỉnh trị số  $R_3/R_2$  cho đến khi chỉ thị Zêro (cầu đã cân bằng)

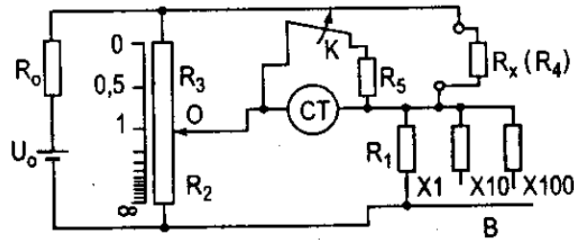
Giá trị điện trở cần đo  $R_x$  được xác định theo công thức

$$R_x = R_1 \frac{R_3}{R_2}$$

Mở rộng giải đo của cầu bằng cách chế tạo điện trở  $R_1$  thành nhiều điện trở có giá trị khác nhau và thông qua chuyển mạch B để thay đổi các giá trị

Ưu điểm của cầu biến trở là chế tạo gọn nhẹ nhưng độ chính xác không cao do sai số của biến trở và con chạy.

Cấp chính xác của cầu đơn đo điện trở thuần phụ thuộc vào giới hạn đo.



**Hình 5 - 9.** Cầu biến trở

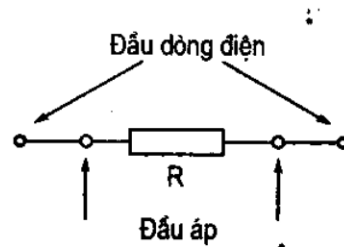
**Ví dụ:** giải đo  $R = 50 \div 10^5 \Omega$  cấp chính xác 0,05 % với giải đo  $R = 10^5 \div 10^6 \Omega$  đạt cấp 0,5%.

### \* Cầu kép (Cầu Kelvin)

Cầu kép là thiết bị đo điện trở nhỏ và rất nhỏ mà các cầu đơn trong quá trình đo không thuận tiện và có sai số lớn do điện trở nối dây và điện trở tiếp xúc.

Các điện trở có trị số nhỏ như điện trở sun của ampemét phải có các đầu ra điện trở xác định chính xác. Để tránh những sai số do tiếp xúc khi chịu những dòng điện lớn gây ra,

các điện trở trên thường được chế tạo bốn đầu, hai đầu dòng và hai đầu áp (hình 5-10).

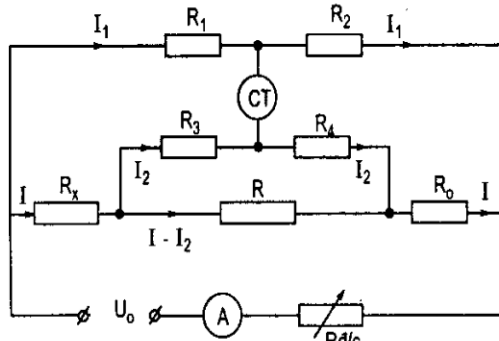


**Hình 5 - 10.** Điện trở nhỏ 4 đầu

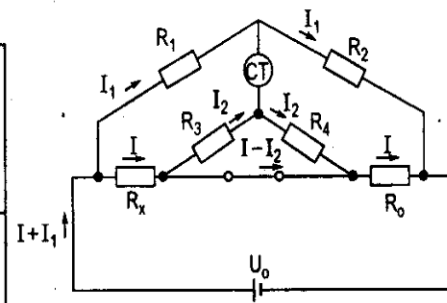
**TRƯỜNG CAO ĐẲNG NGHỀ VIỆT - ĐỨC HÀ TỈNH**

Các đầu ra dòng lớn hơn và nằm ở các đầu mút ngoài của điện trở. Đầu ra áp nằm giữa 2 đầu dòng và những đầu ra đó thường dùng với các dòng điện nhỏ cỡ  $\mu A$  hoặc  $mA$  nên không có sự sụt áp do tiếp xúc tại các đầu ra điện áp. Điện trở được xác định đúng bằng điện trở tồn tại giữa các đầu điện áp.

Để đo các điện trở nhỏ người ta thường dùng cầu kép, hình 5-11. Cầu kép khác với cầu đơn ở chỗ có thêm một số điện trở, trong đó  $R_0$  là điện trở chuẩn có giá trị nhỏ và  $R_1, R_2, R_3, R_4$  là những điện trở điều chỉnh được.



Hình 5 - 11. Mạch nguyên lí của cầu kép



Hình 5 - 12. Cầu kép thông thường

Nếu tỉ số  $R_3/R_4$  giống như  $R_1/R_2$  thì sai số do độ sụt áp trên  $R$  được bỏ qua. Giả sử khi chỉ thị chỉ zêrô (không có dòng điện qua chỉ thị) và điện áp đầu ra của chỉ thị là  $U_{CT} = 0$  (hình 5-11). Với điều kiện trên ta có dòng  $I_1$  sẽ chạy qua  $R_1$  và  $R_2$ , dòng  $I$  chạy qua  $R_x, R_0$ , dòng  $I_2$  qua  $R_4$  và  $R_3$  và  $I - I_2$  chạy qua  $R$ .

Do cầu cân bằng ( $U_{CT}=0$ ) nên điện áp rơi trên  $R_2$  bằng tổng các điện áp rơi trên  $R_0$  và  $R_4$ :

$$I_1 R_2 = I_2 R_4 + I R_0$$

Ta có 
$$I R_0 = I_1 R_2 - I_2 R_4$$

Hoặc 
$$I R_0 = R_2 (I_1 - I_2 \frac{R_4}{R_2}) \tag{5-16}$$

Cũng như vậy, điện áp rơi trên  $R_1$  bằng tổng điện áp rơi trên  $R_3$  và  $R_x$

$$I_1 R_1 = I R_x$$

Ta có 
$$I R_x = I_1 R_1 - I_2 R_3$$

Hoặc 
$$I R_x = R_1 (I_1 - I_2 \frac{R_3}{R_1}) \tag{5-17}$$

Chia phương trình (5-17) cho (5-16) ta được 
$$\frac{I R_x}{I R_0} = \frac{R_1 (I_1 - I_2 \frac{R_3}{R_1})}{R_2 (I_1 - I_2 \frac{R_4}{R_2})}$$

Với điều kiện  $\frac{R_3}{R_4} = \frac{R_1}{R_2}$  hoặc  $\frac{R_3}{R_4} = \frac{R_4}{R_2}$  ta có :

$$\frac{R_x}{R_0} = \frac{R_1}{R_2} \text{ và } R_x = R_0 \frac{R_1}{R_2} \quad (5-18)$$

Trong quá trình đo người ta điều chỉnh  $R_1, R_2, R_3, R_4$  sao cho luôn giữ được tỉ số  $\frac{R_3}{R_4} = \frac{R_1}{R_2}$ . Khi đó giá trị của điện trở  $R_x$  được xác định qua biểu thức 5-18.

Hình 5-12 cho thấy các biểu diễn cầu kép thông thường trong đó  $R_0$  và  $R_x$  là các điện trở có 4 đầu ra và  $R_1, R_2, R_3, R_4$  được mắc vào các đầu ra điện áp của chúng. Khoảng đo của cầu kép thông thường từ  $10\mu\Omega$  (hoặc  $10^{-5}\Omega$ ) đến  $1\Omega$ . Tùy thuộc vào độ chính xác của linh kiện mà độ chính xác của phép đo có thể đạt đến  $\pm 0,2\%$ .

#### **d. Đo điện trở lớn**

##### ***\*Do điện trở lớn bằng phương pháp gián tiếp***

Phương pháp gián tiếp (vônmet và ampe-mét) có thể đo các điện trở lớn  $10^5$  -  $10^{10}\Omega$  như điện trở cách điện. Trong quá trình đo cần loại trừ dòng điện rò qua dây dẫn hoặc qua cách điện của thiết bị. Muốn tránh dòng điện rò cần phải sử dụng màn chắn tĩnh điện hoặc dây dẫn bọc kim.

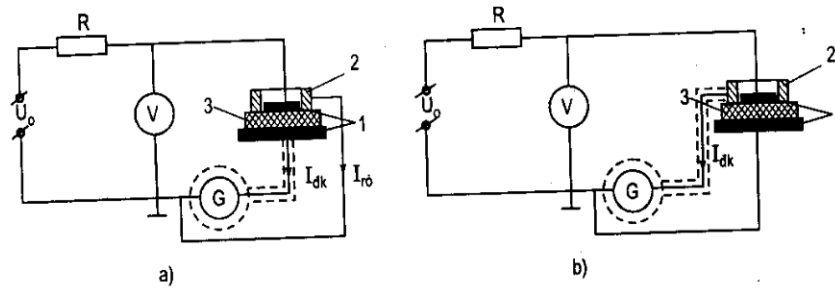
Một vấn đề xuất hiện khi đo những điện trở rất nhỏ là có hai thành phần điện trở : điện trở khối và điện trở rò bề mặt. Trong thực tế điện trở bề mặt và điện trở khối tổ hợp lại đó là điện trở hiệu dụng của lớp cách điện. Tuy nhiên trong một số trường hợp phải tách riêng hai điện trở đó ra. Để tách hai thành phần điện trở người ta sử dụng các điện cực đo và cực phụ hình 5-13.

Khi đo điện trở cách điện khối mạch đo được bố trí như hình 5-13a trong đó điện kế G đo dòng điện xuyên qua khối cách điện (cỡ  $\mu A$ ), còn dòng điện rò trên bề mặt vật liệu qua điện cực phụ nối đất. Điện trở cần đo được xác định qua vônmet và điện kế G

$$R_x = \frac{U}{I_{dk}}$$

Nguồn điện cung cấp cho mạch đo cỡ kilôvôn, điện trở R khoảng  $1M\Omega$ .

Để đo điện trở các điện mặt sơ đồ mạch được bố trí như hình 5-13b, trong đó dòng điện rò trên bề mặt của vật liệu được đo bằng điện kế G, dòng điện xuyên qua khối vật liệu được nối qua cực chính xuống đất. Điện trở cũng được xác định qua vônmet và điện kế G.

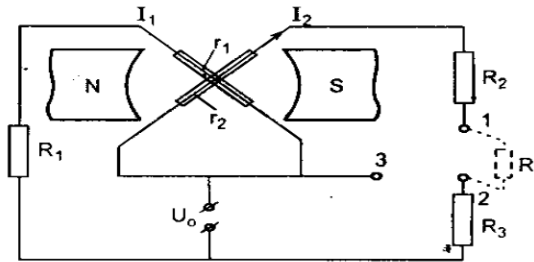


**Hình 5-13.** a) Sơ đồ đo điện trở khối b) Sơ đồ đo điện trở mặt  
1 - Hai điện cực đo 2- Cực phụ 3- Tấm cách điện

**\* Mêgômét**

Mêgômét là dụng cụ đo xách tay được dùng rộng rãi để kiểm tra điện trở cách điện của các dây cáp điện, các động cơ, máy phát và biến áp điện lực.

Dụng cụ gồm có nguồn cao áp cung cấp từ máy phát điện quay tay, điện áp có thể có trị số 500 V hoặc 1000V và chỉ thị là 1 lôgômét từ điện. Chỉ thị lôgômét (hình 5-14a) gồm hai khung dây, một khung tạo mômen quay và một khung dây tạo mômen phản kháng. Góc quay  $\alpha$  của cơ cấu đo tỷ lệ với tỷ số của hai dòng điện chạy qua hai khung dây trong đó dòng điện  $I_1$  đi qua khung dây  $W_1$ , điện trở  $R_1$ ,  $I_2$  đi qua khung dây  $W_2$ , điện trở  $R_2, R_X, R_3$ .



**Hình 5 - 14a.** Mạch nguyên lí mêgômét

$$\text{Ta có : } I_1 = \frac{U_0}{R_1 + r_1}$$

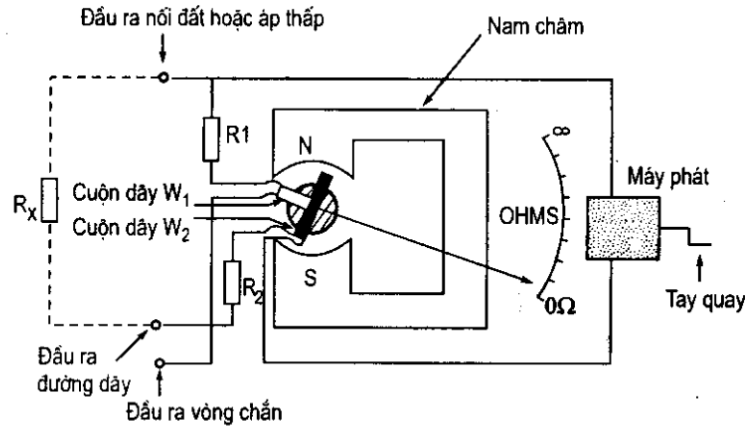
$$I_2 = \frac{U_0}{R_2 + r_2 + R_X + R_3} \quad r_1, r_2 \text{ điện trở của khung dây}$$

Dưới tác động của lực điện từ giữa từ trường và dòng điện qua các khung sẽ tạo ra mômen quay  $M_1$  và mômen cản  $M_2$ .

Ở tại thời điểm cân bằng  $M_1=M_2$

$$\text{Ta có : } \alpha = F\left(\frac{I_1}{I_2}\right) = F\left(\frac{R_2 + R_3 + r_2 + R_X}{R_1 + r_1}\right) \quad (5-19)$$





**Hình 5 - 14b. Megômmét thông thường**

Các giá trị  $R_1, R_2, R_3$  và  $r_1, r_2$  là hằng số nên góc quay tỷ lệ với  $R_x$  và không phụ thuộc vào điện áp cung cấp. hình 5-14b là sơ đồ của Megômmét thường dùng.

### 3.2.2. Đo điện cảm.

#### \* Khái niệm chung

Cuộn cảm lí tưởng là cuộn dây chỉ có thành phần điện kháng ( $X_L = \omega L$ ) hoặc chỉ thuần khiết là điện cảm  $L$ , nhưng trong thực tế các cuộn dây, ngoài thành phần kháng  $X_L$  còn có điện trở của cuộn dây  $R_L$ . Điện trở  $R_L$  càng lớn độ phẩm chất của cuộn dây càng kém. Nếu gọi  $Q$  là độ phẩm chất của cuộn dây thì  $Q$  được đặc trưng bởi tỉ số giữa điện kháng  $X_L$  và điện trở của cuộn dây đó.

$$Q = \frac{X_L}{R_L} \quad (5-36)$$

Để đo các thông số  $X_L$ ,  $R_L$  và  $Q$  người ta thường dùng mạch cầu xoay chiều bốn nhánh.

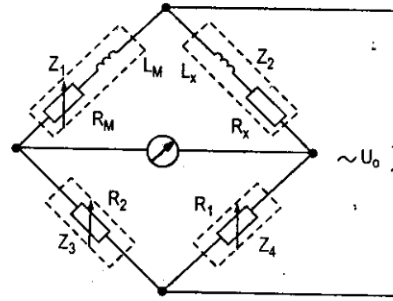
#### b. Các mạch cầu đo thông số cuộn cảm

##### \* Cầu xoay chiều dùng điện cảm mẫu

Mạch cầu so sánh điện cảm như hình vẽ 5-20 trong đó  $L_x, R_x$  là các thông số điện cảm và điện trở cần xác định;  $R_M, R_M$  là các cuộn dây điện cảm và điện trở chuẩn. Hai nhánh còn lại là các điện trở  $R_1$  và  $R_2$  cũng là các điện trở có độ chính xác cao. Khi đo người ta điều chỉnh các điện trở  $R_M$  và  $R_1, R_2$  để đạt được cân bằng cầu.

Ở chế độ cân bằng ta có:

$$\begin{aligned} Z_1 \cdot Z_4 &= Z_2 \cdot Z_3 \\ Z_1 &= R_M + j\omega L_M & Z_3 &= R_2 \\ Z_2 &= R_x + j\omega L_x & Z_4 &= R_1 \end{aligned}$$



**Hình 5 - 20.** Cầu đo điện cảm

**\* Cầu điện cảm Maxwell**

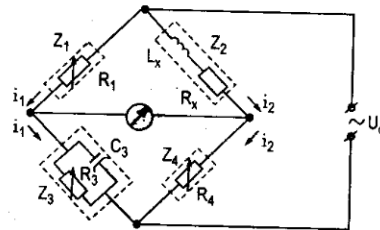
Các tụ điện chuẩn chính xác dễ chế tạo hơn các cuộn dây điện cảm chuẩn, do đó người ta thường dùng điện dung chuẩn để đo điện cảm hơn là sử dụng các cuộn điện cảm chuẩn. Cầu có tụ điện như vậy được gọi cầu Maxwell (hình 5-21)

Trong mạch cầu, tụ điện chuẩn  $C_3$  mắc song song với điện trở  $R_3$ , các nhánh còn lại là điện trở  $R_1$  và  $R_4$ . Các điện trở  $R_3, R_1, R_4$  là các điện trở có thể điều chỉnh được  $R_x$  và  $L_x$  biểu diễn cuộn cảm cần đo. Khi mạch cầu cân bằng ta có:

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

Trong đó:

$$\begin{aligned} Z_3 &= \frac{1}{\frac{1}{R_3} + j\omega C_3} \\ Z_2 &= R_x + j\omega L_x \\ Z_1 &= R_1 \\ Z_4 &= R_4 \end{aligned}$$



**Hình 5 - 21.** Cầu điện cảm Maxwell

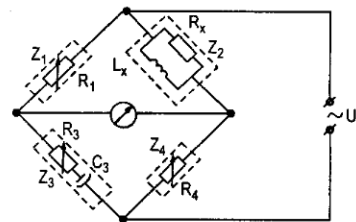
**\* Cầu điện cảm Hay**

Cầu điện cảm Hay tương tự như cầu Maxwell chỉ khác ở chỗ điện trở  $R_3$  được mắc kết nối tiếp tụ  $C_3$  (hình 5-22) và điện cảm  $L_x$  và  $R_x$  được biểu diễn dưới dạng mạch song song và  $R_x, L_x$  đo được là các thành phần của mạch song song.

Khi cầu ở trạng thái cân bằng ta có:

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

Trong đó:



**Hình 5 - 22.** Cầu điện cảm Hay

$$Z_2 = \frac{1}{\frac{1}{R_x} + \frac{1}{j\omega L_x}}$$

$$Z_3 = R_3 + \frac{1}{j\omega C_3}$$

$$Z_1 = R_1 \quad Z_4 = R_4$$

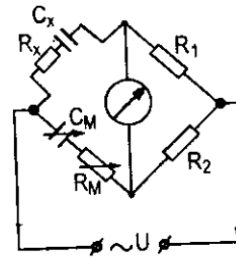
**3.2.3. Đo điện dung**

Tụ điện lý tưởng là tụ không tiêu thụ công suất (dòng điện một chiều không đi qua tụ) nhưng trong thực tế do có lớp điện môi nên vẫn có dòng điện nhỏ đi qua từ cực này đến cực kia. vì vậy trong tụ có sự tổn hao công suất.

**a. Cầu đo xoay chiều đo điện dung**

**\* Cầu đo điện dung tổn hao nhỏ**

Hình 5 -18 là sơ đồ cầu đo tụ điện có tổn hao nhỏ. Cầu gồm có 4 nhánh trong đó  $R_1, R_2$  là thuần trở các nhánh còn lại là  $X_x, R_x$  và điện trở mẫu  $R_m, C_m$  điều chỉnh được. Đường chéo cầu được mắc điện kế G chỉ cân bằng và nguồn cung cấp xoay chiều  $U \sim$ .



**Hình 5 - 18.** Cầu xoay chiều đo tụ điện có tổn hao ít

**\* Cầu đo tụ điện có tổn hao lớn**

Hình 5-19 là sơ đồ mạch cầu đo tụ điện có tổn hao lớn, trong đó  $R_1, R_2$  là các điện trở thuần,  $C_M$  mắc song song với  $R_M$  là điện dung và điện trở mẫu;  $R_x, C_x$  là điện trở và điện dung của tụ điện cần đo.

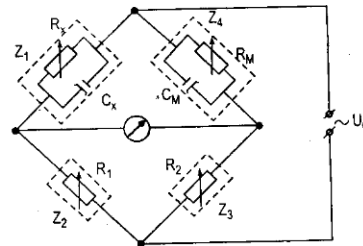
Khi cân bằng ta có:

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

Trong đó  $Z_1 = \frac{1}{1/R_x + j\omega C_x}$

$$Z_2 = R_1; Z_3 = R_2$$

$$Z_4 = \frac{1}{1/R_M + j\omega C_M}$$



**Hình 5 - 19.** Cầu xoay chiều đo tụ điện có tổn hao lớn

**3.3. ĐO CÁC ĐẠI LƯỢNG TẦN SỐ, CÔNG SUẤT, ĐIỆN NĂNG.**

**3.3.1. Đo tần số.**

**a. Khái niệm chung.**

- **Tần số (f: frequency):** được xác định bởi số các chu kỳ lặp lại của sự thay đổi tín hiệu trong một đơn vị thời gian. Tần số là một trong các thông số quan trọng nhất

## TRƯỜNG CAO ĐẲNG NGHỀ VIỆT - ĐỨC HÀ TỈNH

của quá trình dao động có chu kỳ.

- **Chu kỳ (Time period, Time cycle):** là khoảng thời gian nhỏ nhất mà giá trị của tín hiệu lặp lại độ lớn của nó (tức là thoả mãn phương trình  $u(t) = u(t + T)$ ). Quan giữa tần số và chu kỳ của tín hiệu dao động là:

$$f[Hz] = \frac{1}{T[s]}$$

- **Tần số góc tức thời ( $\omega$ ):** được xác định như là vi phân theo thời gian của góc pha của tín hiệu, tức là:

$$\omega(t) = \frac{d\varphi}{dt} [grad]$$

Quan giữa tần số góc tức thời và tần số là:

$$\omega(t) = 2\pi \cdot f(t) \Leftrightarrow f(t) = \frac{1}{2\pi} \cdot \omega(t)$$

với  $f(t)$  là tần số tức thời.

Đối với tín hiệu dao động điều hòa (tín hiệu hình sin) vì có góc pha biến đổi theo thời gian theo quy luật tuyến tính nên tần số góc tức thời là một hằng số:

$$\omega(t) = d\varphi / dt = \omega_0 = const$$

→ tần số  $f$  là một đại lượng không đổi:

$$f = \frac{1}{2\pi} \cdot \omega(t) = \frac{\omega_0}{2\pi}$$

Khoảng tần số được sử dụng trong các lĩnh vực khác nhau như: vô tuyến điện tử, tự động hoá, vật lý thí nghiệm, thông tin liên lạc... với dải tần từ một phần Hz đến hàng nghìn GHz.

- **Tần số kế:** là dụng cụ để đo tần số. Ngoài ra còn có thể đo tỉ số giữa hai tần số, tổng của hai tần số, khoảng thời gian, độ dài các xung...

- **Các phương pháp đo tần số:** việc lựa chọn phương pháp đo tần số được xác định theo khoảng đo, theo độ chính xác yêu cầu, theo dạng đường cong và công suất nguồn tín hiệu có tần số cần đo và một số yếu tố khác. Để đo tần số của tín hiệu điện có hai phương pháp: phương pháp biến đổi thẳng và phương pháp so sánh:

\* **Đo tần số bằng phương pháp biến đổi thẳng:** được tiến hành bằng các loại tần số kế cộng hưởng, tần số kế cơ điện, tần số kế tụ điện, tần số kế chỉ thị số:

- *Các tần số kế cơ điện tương tự* (tần số kế điện từ, điện động, sắt điện động): được sử dụng để đo tần số trong khoảng từ 20Hz ÷ 2,5kHz trong các mạch nguồn với cấp chính xác không cao (cấp chính xác 0,2; 0,5; 1,5; 2,5).

## TRƯỜNG CAO ĐẲNG NGHỀ VIỆT - ĐỨC HÀ TỈNH

Các loại tần số kế này nói chung hạn chế sử dụng vì tiêu thụ công suất khá lớn và bị rung.

+ **Các tần số kế điện dung tương tự:** để đo tần số trong dải tần từ 10Hz ÷ 500kHz, được sử dụng khi hiệu chỉnh, lắp ráp các thiết bị ghi âm và radiôv.v...

+ **Tần số kế chỉ thị số:** được sử dụng để đo chính xác tần số của tín hiệu xung và tín hiệu đa hài trong dải tần từ 10Hz ÷ 50GHz. Còn sử dụng để đo tỉ số các tần số, chu kỳ, độ dài các xung, khoảng thời gian.

**\*Đo tần số bằng phương pháp so sánh:** được thực hiện nhờ ôxilôscôp, cầu xoay chiều phụ thuộc tần số, tần số kế đổi tần, tần số kế cộng hưởng...:

+ **Sử dụng OSILOSSCOPE:** được thực hiện bằng cách đọc trực tiếp trên màn hình hoặc so sánh tần số cần đo với tần số của một máy phát chuẩn ổn định (dựa trên đường cong Litsazua). Phương pháp này dùng để đo tần số các tín hiệu xoay chiều hoặc tín hiệu xung trong dải tần từ 10Hz đến 20MHz.

+ **Tần số kế trộn tần:** sử dụng để đo tần số của các tín hiệu xoay chiều, tín hiệu điều chế biên độ trong khoảng từ 100kHz ÷ 20GHz trong kỹ thuật vô tuyến điện tử.

+ **Cầu xoay chiều phụ thuộc tần số:** để đo tần số trong khoảng từ 20Hz - 20kHz.

+ **Tần số kế cộng hưởng:** để đo tần số xoay chiều tần số tín hiệu điều chế biên độ, điều chế xung trong khoảng từ 50kHz ÷ 10GHz; thường sử dụng khi lắp thiết bị thu phát vô tuyến.

Trong những năm gần đây tần số kế chỉ thị số được sử dụng rộng rãi và còn cài đặt thêm  $\mu P$  để điều khiển và sử dụng kết quả đo nữa...

Dưới đây sẽ tiến hành xét một số phương pháp và dụng cụ đo tần số phổ biến nhất, bao gồm:

- + Đo tần số bằng phương pháp cộng hưởng
- + Tần số kế điện từ
- + Cầu đo tần số
- + Tần số kế chỉ thị số

### **3.3.2. Đo công suất và điện năng (năng lượng).**

#### **a. Cơ sở chung về đo công suất và năng lượng.**

Công suất và năng lượng là các đại lượng cơ bản của phần lớn các đối tượng, quá trình và hiện tượng vật lý. Vì vậy việc xác định công suất và năng lượng là một phép đo rất phổ biến. Việc nâng cao độ chính xác của phép đo đại lượng này có ý nghĩa rất to lớn trong nền kinh tế quốc dân, nó liên quan đến việc tiêu thụ năng lượng, đến việc tìm những nguồn năng lượng mới, đến việc tiết kiệm năng lượng.

## TRƯỜNG CAO ĐẲNG NGHỀ VIỆT - ĐỨC HÀ TỈNH

Công suất cũng như năng lượng có mặt dưới nhiều dạng khác nhau đó là: năng lượng điện, nhiệt cơ, công suất, phát xạ...tuy nhiên quan trọng nhất vẫn là việc đo công suất và năng lượng điện, còn các dạng năng lượng khác cũng thường được đo bằng phương pháp điện.

Dải đo của công suất điện thường từ  $10^{-20}$  W đến  $10^{+10}$  W. Công suất và năng lượng điện cũng cần phải được đo trong dải tần rộng từ không (một chiều) đến  $10^9$  Hz và lớn hơn.

**Ví dụ:** Công suất của tín hiệu một đài phát thanh khoảng  $10^{-16}$  W còn công suất của một đài phát thanh hiện đại khoảng trên  $10^{+10}$  W. Năng lượng từ một thiên hà đến trái đất trong 1s là  $10^{-40}$  June, còn năng lượng cho ra của một máy phát điện trong một năm cỡ  $10^{20}$  June.

### **b. Công suất trong mạch một chiều:**

Công suất trong mạch một chiều được tính theo một trong các biểu thức sau đây:

trong đó: I - dòng điện trong mạch

U - điện áp rơi trên phụ tải với điện trở R

P - lượng nhiệt toả ra trên phụ tải trong một đơn vị thời gian.

### **c. Công suất tác dụng trong mạch xoay chiều một pha:**

Trong trường hợp khi dòng và áp có dạng hình sin thì công suất tác dụng được tính là :

hệ số  $\cos\varphi$  được gọi là hệ số công suất.

Còn đại lượng  $S = U.I$  gọi là công suất toàn phần được coi là công suất tác dụng khi phụ tải là thuần điện trở tức là, khi  $\cos\varphi = 1$ .

Khi tính toán các thiết bị điện để đánh giá hiệu quả của chúng, người ta còn sử dụng khái niệm công suất phản kháng. Đối với áp và dòng hình sin thì công suất phản kháng được tính theo :

$$Q = U.I.\sin\varphi$$

Trong trường hợp chung nếu một quá trình có chu kỳ với dạng đường cong bất kỳ thì công suất tác dụng là tổng các công suất của các thành phần sóng hài.

Hệ số công suất trong trường hợp này được xác định như là tỉ số giữa công suất tác dụng và công suất toàn phần:

**d. Công suất tác dụng trong mạch 3 pha:**

Biểu thức tính công suất tác dụng và công suất phản kháng là :

với:  $U_{\varphi}, I_{\varphi}$  : điện áp pha và dòng pha hiệu dụng

$\varphi_C$  : góc lệch pha giữa dòng và áp của pha tương ứng.

Biểu thức để đo năng lượng điện được tính như sau:

$$W_i = P_i \cdot t$$

với: P: công suất tiêu thụ

t: thời gian tiêu thụ

Trong mạch 3 pha có:

$$W = W_A + W_B + W_C$$

Như vậy công tơ đo năng lượng điện phải bao gồm một bộ phận chuyển đổi để đo công suất, một bộ tích phân. Bộ chuyển đổi đo công suất được thực hiện theo nhiều công suất khác nhau gồm:

- **Phương pháp cơ điện:** phép nhân được dựa trên cơ cấu chỉ thị như điện động, sắt điện động, tĩnh điện và cảm ứng, trong đó góc quay  $\alpha$  của phần động là hàm của công suất cần đo.

- **Phương pháp điện:** phép nhân được thực hiện bởi các mạch nhân tương tự cũng như nhân số điện tử, tín hiệu ra của nó là hàm của công suất cần đo.

- **Phương pháp nhiệt điện:** sử dụng phương pháp biến đổi thẳng công suất điện thành nhiệt. Phương pháp này thường được ứng dụng khi cần đo công suất và năng lượng trong mạch tần số cao cũng như của nguồn laser.

- **Phương pháp so sánh:** là phương pháp chính xác vì thế nó thường được sử dụng để đo công suất trong mạch xoay chiều tần số cao.

**e. Đo công suất trong mạch một chiều và xoay chiều một pha.**

## TRƯỜNG CAO ĐẲNG NGHỀ VIỆT - ĐỨC HÀ TỈNH

Có các phương pháp đo cơ bản sau:

### **- Đo theo phương pháp cơ điện:**

+ Watmet điện động

+ Watmet sắt điện động

### **- Đo theo phương pháp điện:**

+ Watmet chỉnh lưu điện tử

+ Watmet dùng phương pháp nhiệt điện

### **e. Đo theo phương pháp cơ điện:**

Công suất trong mạch một chiều có thể đo được bằng cách đo điện áp đặt vào phụ tải  $U$  và dòng  $I$  qua phụ tải đó. Kết quả là tích của hai đại lượng đó. Tuy nhiên đây là phương pháp gián tiếp, phương pháp này có sai số của phép đo bằng tổng sai số của hai phép đo trực tiếp (đo điện áp và đo dòng điện).

Trong thực tế thường đo trực tiếp công suất bằng w atmet điện động và sắt điện động. Những dụng cụ đo này có thể đo công suất trong mạch một chiều và xoay chiều một pha tần số công nghiệp cũng như tần số siêu âm đến 15kHz.

Với watmet điện động có thể đạt tới cấp chính xác là  $0,01 \div 0,1$  với tần số dưới 200Hz và trong mạch một chiều, ở tần số từ 200Hz ÷ 400Hz thì sai số đo là 0,1% và hơn nữa.

Với watmet sắt điện động với tần số dưới 200Hz sai số đo là  $0,1 \div 0,5$  % còn với tần số từ 200Hz ÷ 400Hz thì sai số đo là 0,2 % và hơn nữa.

### **\* Đo trực tiếp công suất bằng watmet điện động:**

Để đo công suất tiêu thụ trên phụ tải  $R_L$  ta mắc watmet điện động. Trong đó ở mạch nối tiếp với một điện trở phụ  $R_p$ . Cuộn tĩnh và cuộn động được nối với nhau ở hai đầu có đánh dấu \*.

### **i. Đo năng lượng trong mạch xoay chiều một pha, công tơ một pha.**

Năng lượng trong mạch xoay chiều một pha được tính:

$$A = P \cdot t$$

với:  $P = U \cdot I \cdot \cos \phi$  là công suất tiêu thụ trên tải.

$t$  là khoảng thời gian tiêu thụ của tải.

Dụng cụ đo để đo năng lượng là công tơ. Công tơ được chế tạo dựa trên cơ cấu chỉ thị cảm ứng. Chi rõ sơ đồ cấu tạo của một công tơ một pha dựa trên cơ cấu chỉ thị cảm ứng:



*Hình 3.1. sơ đồ cấu tạo của một công tơ một pha dựa trên cơ cấu chỉ thị cảm ứng*

**\* Công tơ một pha:**

**Cấu tạo:** như hình 3.1a, gồm các bộ phận chính:

- Cuộn dây 1 (tạo nên nam châm điện 1): gọi là cuộn áp được mắc song song với phụ tải. Cuộn này có số vòng dây nhiều, tiết diện dây nhỏ để chịu được điện áp cao.
- Cuộn dây 2 (tạo nên nam châm điện 2): gọi là cuộn dòng được mắc nối tiếp với phụ tải. Cuộn này dây to, số vòng ít, chịu được dòng lớn.
- Đĩa nhôm 3: được gắn lên trục từ vào trụ có thể quay tự do giữa hai cuộn dây 1, 2.
- Hộp số cơ khí: gắn với trục của đĩa nhôm.
- Nam châm vĩnh cửu 4: có từ trường của nó xuyên qua đĩa nhôm để tạo ra mômen hãm.

**\*Nguyên lý làm việc:** khi có dòng điện  $I$  chạy trong phụ tải, qua cuộn dòng tạo ra từ thông  $\Phi_1$  cắt đĩa nhôm hai lần. Đồng thời điện áp  $U$  được đặt vào cuộn áp sinh ra dòng  $I_u$ , dòng này chạy trong cuộn áp tạo thành hai từ thông:

- $\Phi_u$ : là từ thông làm việc, xuyên qua đĩa nhôm
- $\Phi_1$ : không xuyên qua đĩa nhôm do vậy mà không tham gia việc tạo ra mômen quay.

Từ sơ đồ vectơ như hình 3.1b có:

với:  $k_1, k_u$ : là hệ số tỉ lệ về dòng và áp;  $Z_u$ : là tổng trở của cuộn áp

Hình 3.2. Công tơ một pha: a) Sơ đồ cấu tạo; b) Biểu đồ vectơ

**Sai số của công tơ được tính như sau:**

với:  $W_N, C_{PN}$  : là năng lượng và hằng số công tơ định mức.

$W_{do}, C_{Pdo}$  : là năng lượng và hằng số công tơ đo được.

Cấp chính xác của công tơ thường là: 0,5; 1; 1,5; 2; 2,5.

**\* Kiểm tra công tơ:**

Để công tơ chỉ được chính xác, trước khi đem sử dụng người ta thường phải kiểm tra hiệu chỉnh và cấp chỉ.

Để kiểm tra công tơ ta phải mắc chúng theo sơ đồ hình 3.3:

Hình 3.3. Sơ đồ kiểm tra công tơ

Từ nguồn điện 3 pha qua bộ điều chỉnh pha để lấy ra điện áp một pha có thể lệch pha với bất kỳ pha nào của nguồn điện từ  $0$  đến  $360^{\circ}$ . Sau đó qua biến dòng (dưới dạng biến áp tự ngẫu)  $L_1$ , dòng điện ra được mắc nối tiếp với phụ tải  $Z_T$  ampe-mét và các cuộn dòng của watmet và công tơ.

## TRƯỜNG CAO ĐẲNG NGHỀ VIỆT - ĐỨC HÀ TỈNH

Điện áp được lấy ra từ một pha bất kỳ của nguồn điện (ví dụ pha BC), qua biến áp tự ngẫu  $L_2$  và đặt vào cuộn áp của watmet cũng như của công tơ, vônmet chỉ điện áp đó ở đầu ra của biến áp tự ngẫu  $L_2$ .

***\*Việc kiểm tra công tơ theo các bước sau đây:***

1. Điều chỉnh tự quay của công tơ: điều chỉnh  $L_2$ , đặt điện áp vào cuộn áp của watmet và công tơ bằng điện áp định mức  $U = U_N$ ; điều chỉnh  $L_1$  sao cho dòng điện vào cuộn dòng của watmet và công tơ bằng không  $I = 0$ , lúc này watmet chỉ 0 và công tơ phải đứng yên. Nếu công tơ quay thì đó là hiện tượng tự quay của công tơ.

Nguyên nhân của hiện tượng này là khi chế tạo để thắng được lực ma sát bao giờ cũng phải tạo ra một mômen bù ban đầu, nếu mômen này quá lớn (lớn hơn mômen ma sát giữa trục và trụ) thì xuất hiện hiện tượng tự quay của công tơ.

Để loại trừ hiện tượng tự quay, ta phải điều chỉnh vị trí của mấu từ trên trục của công tơ sao cho tăng mômen hãm, tức là giảm mômen bù cho đến khi công tơ đứng yên thì thôi.

2. Điều chỉnh góc  $\theta = \beta - \alpha_1 = 2/\pi$ : cho điện áp bằng điện áp định mức  $U = U_N$ , dòng điện bằng dòng điện định mức  $I = I_N$ . Điều chỉnh góc lệch pha  $\varphi = \pi/2$  tức là  $\cos \varphi = 0$ . Lúc này watmet chỉ 0, công tơ lúc này phải đứng yên, nếu công tơ quay điều đó có nghĩa là  $\theta \neq \pi/2$  và công tơ không tỉ lệ với công suất.

Để điều chỉnh cho góc  $\theta = \pi/2$  ta phải điều chỉnh góc  $\beta$  hay từ thông  $\Phi_u$  bằng cách điều chỉnh bộ phận phân nhánh từ của cuộn áp, hoặc có thể điều chỉnh góc  $\alpha_1$  hay từ thông  $\Phi_1$  bằng cách điều chỉnh vòng ngắn mạch của cuộn dòng. Cứ thế cho đến khi công tơ đứng yên. Lúc này thì số chỉ của công tơ tỉ lệ của công suất, tức là góc  $\theta = \pi/2$ .

3. Kiểm tra hằng số công tơ: để kiểm tra hằng số công tơ  $C_p$  thì cần phải điều chỉnh sao cho  $\cos \Phi = 1$  (tức là  $\Phi = 0$ ), lúc này watmet chỉ  $P = U.I$ .

Cho  $I = I_N$ ,  $U = U_N$  lúc đó  $P = U_N I_N$

Đo thời gian quay của công tơ bằng đồng hồ bấm giây t. Đếm số vòng N mà công tơ quay được trong khoảng thời gian t. Từ đó ta tính được hằng số công tơ:

Hằng số này thường không đổi đối với mỗi loại công tơ và được ghi trên mặt công tơ.

## TRƯỜNG CAO ĐẲNG NGHỀ VIỆT - ĐỨC HÀ TỈNH

**Ví dụ:** trên công tơ có viết : “1kWh = 600vòng” . Điều này có nghĩa là  $C_p = 600$  vòng /1kWh.

Trong thực tế đôi khi người ta sử dụng một đại lượng nghịch đảo với hằng số  $C_p$  đó là hằng số k:

Để thuận tiện, trên hộp số người ta tính toán để cho  $k = 1\text{kWh}/1$  số, sẽ dễ dàng cho người dùng. Nếu  $C_p$  (hoặc k) không bằng giá trị định mức đã ghi trên mặt công tơ thì ta phải điều chỉnh vị trí của nam châm vĩnh cửu để tăng (hoặc giảm) mômen cân  $M_c$  cho đến khi  $C_p$  (hoặc k) đạt được giá trị định mức.

Sai số của công tơ được tính như sau :

Sau khi tính nếu sai số này nhỏ hơn hoặc bằng cấp chính xác ghi ở trên công tơ là được. Trường hợp lớn hơn thì phải sửa chữa và hiệu chỉnh lại công tơ rồi kiểm tra lại.

### **m. Công tơ điện tử:**

Để chế tạo công tơ điện tử, người ta biến đổi dòng điện I thành điện áp  $U_1$  tỉ lệ với nó:

$$U_1 = k_1 I$$

một điện áp khác tỉ lệ với điện áp đặt vào U:

$$U_2 = k_2 U$$

qua bộ phận điện tử (nhân analog) sẽ nhận được điện áp  $U_3$  tỉ lệ với công suất P:

$$U_3 = k_3 .P$$

Tiếp theo điện áp này sẽ lần lượt qua các khâu: qua bộ biến đổi điện áp-tần số (hoặc bộ biến đổi A/D), vào bộ đếm, ra chỉ thị số. Số chỉ của cơ cấu chỉ thị số sẽ tỉ lệ với năng lượng  $N = CW$  trong khoảng thời gian cần đo năng lượng đó.

*Hình 3.4. Sơ đồ khối nguyên lý của công tơ điện tử*

Tất cả các bộ biến đổi trên đây đều thực hiện bằng mạch điện tử.

Công tơ điện tử có thể đạt tới cấp chính xác 0,5.

## **Phần IV. SỬ DỤNG CÁC LOẠI MÁY ĐO THÔNG DỤNG**

### **4.1. SỬ DỤNG VOM, MΩ.**

#### **4.1.1. Sử dụng VOM.**

Đồng hồ vạn năng (VOM) là thiết bị đo không thể thiếu được với bất kỳ một kỹ thuật viên điện tử nào, đồng hồ vạn năng có 4 chức năng chính là Đo điện trở, đo điện áp DC, đo điện áp AC và đo dòng điện.

Ưu điểm của đồng hồ là đo nhanh, kiểm tra được nhiều loại linh kiện, thấy được sự phóng nạp của tụ điện, tuy nhiên đồng hồ này có hạn chế về độ chính xác và có trở kháng thấp khoảng 20K/Vol do vậy khi đo vào các mạch cho dòng thấp chúng bị sụt áp.

**Đồng hồ vạn năng** hay **vạn năng kế** (VOM) là một dụng cụ đo lường điện có nhiều chức năng. Các chức năng cơ bản là ampe kế, vôn kế, và ôm kế, ngoài ra có một số đồng hồ còn có thể đo tần số dòng điện, điện dung tụ điện, kiểm tra bóng bán dẫn (transistor)...

**Đồng hồ vạn năng điện tử**, còn gọi là **vạn năng kế điện tử** là một đồng hồ vạn năng sử dụng các linh kiện điện tử chủ động, và do đó cần có nguồn điện như pin. Đây là loại thông dụng nhất hiện nay cho những người làm công tác kiểm tra điện và điện tử. Kết quả của phép đo thường được hiển thị trên một màn tinh thể lỏng nên đồng hồ còn được gọi là (*đồng hồ vạn năng điện tử hiện số*).



*Một vạn năng kế điện tử*



*Bên trong một đồng hồ vạn năng điện tử*

Việc lựa chọn các đơn vị đo, thang đo hay vị chỉnh thường được tiến hành bằng các nút bấm, hay một công tắc xoay, có nhiều nấc, và việc cắm dây nối kim đo vào đúng các lỗ. Nhiều vạn năng kế hiện đại có thể tự động chọn thang đo.

Vạn năng kế điện tử còn có thể có thêm các chức năng sau:

1. Kiểm tra nối mạch: máy kêu "bíp" khi điện trở giữa 2 đầu đo (gần) bằng 0.
2. Hiện thị số thay cho kim chỉ trên thước.
3. Thêm các bộ khuếch đại điện để đo hiệu điện thế hay cường độ dòng điện nhỏ, và điện trở lớn.
4. Đo độ tự cảm của cuộn cảm và điện dung của tụ điện. Có ích khi kiểm tra và lắp đặt mạch điện.
5. Kiểm tra diode và transistor. Có ích cho sửa chữa mạch điện.
6. Hỗ trợ cho đo nhiệt độ bằng cặp nhiệt.
7. Đo tần số trung bình, khuếch đại âm thanh, để điều chỉnh mạch điện của radio. Nó cho phép nghe tín hiệu thay cho nhìn thấy tín hiệu (như trong dao động kế).

## TRƯỜNG CAO ĐẲNG NGHỀ VIỆT - ĐỨC HÀ TỈNH

8. Dao động kế cho tần số thấp. Xuất hiện ở các vạn năng kế có giao tiếp với máy tính.
9. Bộ kiểm tra điện thoại.
10. Bộ kiểm tra mạch điện ô-tô.
11. Lưu giữ số liệu đo đạc (ví dụ của hiệu điện thế).

### **Đồng hồ vạn năng hiển thị kim**



*Một vạn năng kế tương tự*



*Bên trong đồng hồ vạn năng thường*

Loại này ra đời trước và dần bị thay thế bởi vạn năng kế điện tử. Bộ phận chính của nó là một Gavanô kế. Nó thường chỉ thực hiện đo các đại lượng điện học cơ bản là cường độ dòng điện, hiệu điện thế và điện trở. Hiển thị kết quả đo được thực hiện bằng kim chỉ trên một thước hình cung. Loại này có thể không cần nguồn điện nuôi khi hoạt động trong chế độ đo cường độ dòng điện và hiệu điện thế.

### **4.1.2. Sử dụng MΩ.**

Tính năng của thiết bị đo điện trở đất



## TRƯỜNG CAO ĐẲNG NGHỀ VIỆT - ĐỨC HÀ TỈNH

### ***Mô tả đặc tính kỹ thuật:***

Chức năng đo: điện trở đất, điện áp xoay chiều (Grounding Voltage).

Dải đo và cấp chính xác:

Điện trở đất: 3 thang đo 10/100/1000 Ohm; Cấp chính xác:  $\pm 2.5\%$  f.s

Điện áp xoay chiều: 0 - 30 V; cấp chính xác:  $\pm 3\%$  f.s

Dòng đo: max :15mA AC , min : 3mA AC.

Tần số đo: 575Hz hoặc 600Hz.

Điện áp cực mở: max 50V AC.

Đồng hồ đo sử dụng phương pháp sai pha xoay chiều.

Nguồn cung cấp: Pin R6P x 6.

Kích thước: 164 x 119 x 88 mm.

Trọng lượng: 800g.

Phụ kiện kèm theo:

Cáp đo: Model 9215

Hộp đựng máy: 9393.

Que đo đất phụ: 9214.

Phụ kiện tùy chọn:

Mạng đất: Model 9050.

## **4.2. SỬ DỤNG AMPE KÌM, OSC.**

### **4.2.1. Sử dụng Ampe kìm.**

#### **\* Ampe kìm**



*Ampe kìm đo cường độ dòng điện*



## TRƯỜNG CAO ĐẲNG NGHỀ VIỆT - ĐỨC HÀ TỈNH

Trong dòng điện xoay chiều, từ trường biến thiên sinh ra bởi dòng điện có thể gây cảm ứng điện từ lên một cuộn cảm nằm gần dòng điện. Đây là cơ chế hoạt động của Ampe kế kim.



- Chức năng đo: dòng và áp xoay chiều, điện trở, tần số, nhiệt độ (chọn thêm đầu đo nhiệt), kiểm tra dẫn điện...
- Có chức năng kiểm tra méo dạng sóng, đo giá trị đỉnh sóng.  
Slow/Peak/C.F/RMS/Record mode/Auto-off/Conduction.
- Đường kính kim mở lớn nhất: 33 mm.
- Màn hình tinh thể lỏng hiển thị số và thanh hiển thị (35 vạch) giá trị.
- Không cần cầu chì bảo vệ trong dải điện áp tới 600V.
- Kích thước: 62x218x39 mm.
- Trọng lượng: 350g.

### **Đặc tính kỹ thuật:**

*Dải đo dòng xoay chiều (3 thang đo):*

Giá trị hiệu dụng: 30 — 600A, Cấp chính xác:  $\pm 1\% \text{rdg.} \pm 5 \text{dgt}$

Imax: 75 — 1000A,  $\pm 3\% \text{rdg.} \pm 5 \text{dgt}$

*Dải đo điện áp xoay chiều (2 thang đo):*

Giá trị hiệu dụng: 300 — 600V, Cấp chính xác:  $\pm 1\% \text{rdg.} \pm 3 \text{dgt}$

Umax: 750 — 1000V,  $\pm 3\% \text{rdg.} \pm 5 \text{dgt}$

Tần số dòng xoay chiều: 40 — 1000Hz.

Đo trở kháng: 1 — 10kW.

Đo nhiệt độ: - 50 tới 150°C.

Đo tần số: 100 — 1000Hz,  $\pm 0,3\% \text{rdg.} \pm 1 \text{dgt}$ .

Kiểm tra dẫn điện: 1kW.

Hệ số méo dạng sóng: 1.00 — 5.00,  $\pm 10\% \text{rdg.} \pm 5 \text{dgt}$ .

Tốc độ lấy mẫu: max 2 — 4 lần/s, min 1 lần/3s.

*Phụ kiện kèm theo:*

Đầu đo: Model 9207-10 , 70cm.

Hộp đựng máy: 9399.

*Phụ kiện tùy chọn:*

Đầu đo nhiệt độ: Model 9462 , 1.2m, -50 tới 150°C.

**Modull: Đo lường điện**

## TRƯỜNG CAO ĐẲNG NGHỀ VIỆT - ĐỨC HÀ TỈNH



Ampe kim model 3280-10 của hãng Hioki - Nhật bản với tính năng sử dụng đơn giản và an toàn. Dùng đo dòng, áp xoay chiều, điện trở, kiểm tra dẫn điện.

- Kích thước gọn nhẹ: 57x175x16 mm.
- Trọng lượng: 100g.
- Nguồn cung cấp cho máy: 1 pin CR2032 (3V DC).
- Đường kính mở của kìm đo: 33 mm.

### ***Đặc tính kỹ thuật:***

<b>Chức năng đo</b>	<b>Dải đo và cấp chính xác</b>
Dòng xoay chiều (50/60Hz)	Có 3 thang đo: 0.06 - 4/420/1000A. Cấp chính xác : $\pm 1.5\% \text{rdg} \pm 5 \text{dgt}$ .
Điện áp một chiều	420mV/42V/420V/600V. Cấp chính xác: $\pm 1.3\% \text{rdg} \pm 4 \text{dgt}$ .
Điện áp xoay chiều (50/500Hz)	4.2/42/420/600V. Cấp chính xác: $\pm 2.3\% \text{rdg} \pm 8 \text{dgt}$ .
Điện trở	420W/4.2k/420k/4.2M/42MW. Cấp chính xác: $\pm 2.0\% \text{rdg} \pm 6 \text{dgt}$ .
Kiểm tra thông mạch	420W. Cấp chính xác: $\pm 2.0\% \text{rdg} \pm 6 \text{dgt}$ .

- + Tự động chuyển đổi thang đo, lưu giữ kết quả, cảnh báo pin.
- + Màn hình hiển thị LCD 4199 digits.
- + Tốc độ lấy mẫu : max 2,5 lần/s, min 1 lần/3s.
- + Bảo vệ quá áp: AC V/DC V 600V.
- + Phụ kiện kèm theo:
  - + Đầu đo: Model 9208.
  - + Hộp đựng: Model 9398.
  - + Phụ kiện tùy chọn:
    - + Đầu đo tiện dụng: Model 9209 (chỉ 1 que đo gắn vào thân máy).

**4.2.2. Sử dụng Dao động ký (Oscilloscope).**

*Hình 4.1: Hình ảnh máy hiện sóng điện tử*

**4.2.2.1. Mở đầu**

Máy hiện sóng điện tử hay còn gọi là dao động ký điện tử (electronic oscilloscope) là một dụng cụ hiển thị dạng sóng rất thông dụng. Nó chủ yếu được sử dụng để vẽ dạng của tín hiệu điện thay đổi theo thời gian. **Bằng cách sử dụng máy hiện sóng ta xác định được: ?**

*Hình 4.2: Máy hiện sóng Oscilloscope và đầu dây đo*

- + Giá trị điện áp và thời gian tương ứng tín hiệu
- + Tần số dao động của tín hiệu
- + Góc lệch pha giữa hai tín hiệu
- + Dạng sóng tại mỗi điểm khác nhau trên mạch điện tử
- + Thành phần của tín hiệu gồm thành phần một chiều và xoay chiều như

thể nào

- + Trong tín hiệu có bao nhiêu thành phần nhiễu và nhiễu đó có thay đổi theo thời gian hay không

Một máy hiện sóng giống như một máy thu hình nhỏ nhưng có màn hình được kẻ ô và có nhiều phần điều khiển hơn TV. Dưới đây là panel của một máy hiện sóng thông dụng với phần hiển thị sóng; phần điều khiển theo trục X, trục Y, đồng bộ và chế độ màn hình; phần kết nối đầu đo ....

*Hình 4.3: Đầu dây đo của máy hiện sóng Oscilloscope*

Màn hình của máy hiện sóng được chia ô, 10 ô theo chiều ngang và 8 ô theo chiều đứng. ở chế độ hiển thị thông thường, máy hiện sóng hiện dạng sóng biến đổi theo thời gian: trục đứng Y là trục điện áp, trục ngang X là trục thời gian.

*Hình 10.4: Biểu diễn các trục trên màn hình máy hiện sóng Oscilloscope*

Độ chói hay độ sáng của màn hình đôi khi còn gọi độ chói trục Z. Máy hiện sóng có thể được dùng ở rất nhiều lĩnh vực khác nhau chứ không đơn thuần trong lĩnh vực điện tử. Với một bộ chuyển đổi hợp lý ta có thể đo được thông số của hầu hết tất cả các hiện tượng vật lý. Bộ chuyển đổi ở đây có nhiệm vụ tạo ra tín hiệu điện tương ứng với đại lượng cần đo, ví dụ như các bộ cảm biến âm thanh, ánh sáng, độ căng, độ rung, áp suất hay nhiệt độ ...

Các thiết bị điện tử thường được chia thành 2 nhóm cơ bản là thiết bị tương tự và thiết bị số, máy hiện sóng cũng vậy. Máy hiện sóng tương tự (Analog oscilloscope) sẽ chuyển trực tiếp tín hiệu điện cần đo thành dòng electron bắn lên màn hình. Điện áp làm lệch chùm electron một cách tỉ lệ và tạo ra tức thời dạng sóng tương ứng trên hình. Trong khi đó, máy hiện sóng số (Digital oscilloscope) sẽ lấy mẫu dạng sóng, đưa qua bộ chuyển đổi tương tự/số (ADC). Sau đó nó sử dụng các thông tin dưới

## TRƯỜNG CAO ĐẲNG NGHỀ VIỆT - ĐỨC HÀ TỈNH

dạng số để tái tạo lại dạng sóng trên màn hình. Tùy vào ứng dụng mà người ta sử dụng máy hiện sóng loại nào cho phù hợp.

Thông thường, nếu cần hiển thị dạng tín hiệu dưới dạng thời gian thực (khi chúng xảy ra) thì sử dụng máy hiện sóng tương tự. Khi cần lưu giữ thông tin cũng như hình ảnh để có thể xử lý sau hay in ra dạng sóng thì người ta sử dụng máy hiện sóng số có khả năng kết nối với máy tính với các bộ vi xử lý. Phần tiếp theo của tài liệu chúng ta sẽ nói tới máy hiện sóng tương tự, loại dùng phổ biến trong kỹ thuật đo lường điện tử.

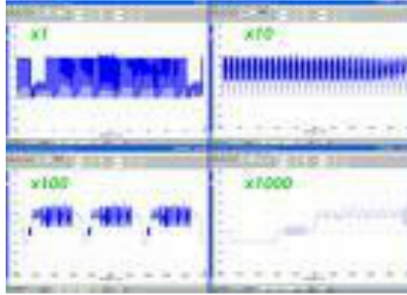
### **4.2.2.2. Sơ đồ khối của một máy hiện sóng thông dụng**

*Hình 4.5: Sơ đồ khối của máy hiện sóng Oscilloscope*

Tín hiệu vào được đưa qua bộ chuyển mạch AC/DC (khóa K đóng khi cần xác định thành phần DC của tín hiệu còn khi chỉ quan tâm đến thành phần AC thì mở K). Tín hiệu này sẽ qua bộ phân áp (hay còn gọi là bộ suy giảm đầu vào) được điều khiển bởi chuyển mạch núm xoay nôm xoay VOLTS/DIV, nghĩa là xoay núm này cho phép ta điều chỉnh tỉ lệ của sóng theo chiều đứng. Chuyển mạch Y- POS để xác định vị trí theo chiều đứng của sóng, nghĩa là có thể di chuyển sóng theo chiều lên hoặc xuống tùy ý bằng cách xoay núm vặn này. Sau khi qua phân áp, tín hiệu vào sẽ được bộ khuếch đại Y khuếch đại làm lệch rồi đưa tới điều khiển cặp làm lệch đứng. Tín hiệu của bộ KĐ Y cũng được đưa tới trigô (khối đồng bộ), trường hợp này gọi là đồng bộ trong, để kích thích mạch tạo sóng răng cưa (còn gọi mạch phát quét) và đưa tới điều khiển cặp làm lệch ngang để tăng hiệu quả điều khiển, một số mạch còn sử dụng thêm các bộ khuếch đại X sau khối tạo điện áp răng cưa). Đôi khi người ta cũng cho mạch

## TRƯỜNG CAO ĐẲNG NGHỀ VIỆT - ĐỨC HÀ TỈNH

làm việc ở chế độ đồng bộ ngoài bằng cách cắt đường tín hiệu từ khuếch đại Y, thay vào đó là cho tín hiệu ngoài kích thích khối tạo sóng răng cưa.



Đi vào khối tạo sóng răng cưa còn có hai tín hiệu điều khiển từ núm vặn TIME/DIV và X - POS. TIME/DIV (có nhiều máy kí hiệu là SEC/DIV) cho phép thay đổi tốc độ quét theo chiều ngang, khi đó dạng sóng sẽ dừng trên màn hình với n chu kỳ nếu tần số của sóng đó lớn gấp n lần tần số quét). X - POS là núm điều chỉnh việc di chuyển sóng theo chiều ngang cho tiện quan sát.

Ống phóng tia điện tử CRT đã được mô tả ở phần trước.

Sau đây ta sẽ xem xét phần điều khiển, vận và các ứng dụng thông dụng nhất của một máy hiện sóng.

### **4.2.2.3. Thiết lập chế độ hoạt động và cách điều khiển một máy hiện sóng**

#### **a. Thiết lập chế độ hoạt động cho máy hiện sóng**

Sau khi nối đất cho máy hiện sóng ta sẽ điều chỉnh các núm vặn hay công tắc để thiết lập chế độ hoạt động cho máy.

Panel trước của máy hiện sóng gồm 3 phần chính là VERTICAL (phần điều khiển đứng), HORIZONTAL (phần điều khiển ngang) và TRIGGER (phần điều khiển đồng bộ). Một số phần còn lại (FOCUS - độ nét, INTENSITY - độ sáng...) có thể khác nhau tùy thuộc vào hãng sản xuất, loại máy, và model.

Nối các đầu đo vào đúng vị trí (thường có ký hiệu CH1, CH2 với kiểu đầu nối BNC (xem hình trên). Các máy hiện sóng thông thường sẽ có 2 que đo ứng với 2 kênh và màn hình sẽ hiện dạng sóng tương ứng với mọi kênh.

Một số máy hiện sóng có chế độ AUTOSSET hoặc PRESET để thiết lập lại

## TRƯỜNG CAO ĐẲNG NGHỀ VIỆT - ĐỨC HÀ TỈNH

toàn bộ phần điều khiển, nếu không ta phải tiến hành bằng tay trước khi sử dụng máy.

Các bước chuẩn bị như sau:

1. + Đưa tất cả các nút bấm về vị trí OUT
  - + Đưa tất cả các thanh trượt về vị trí UP
  - + Đưa tất cả các núm xoay về vị trí CENTRED
  - + Đưa nút giảm của VOLTS/DIV, TIME/DIV, HOLD OFF về vị trí CAL (cân chỉnh)
2. Vặn VOLTS/DIV và TIME/DIV về vị trí 1V/DIV và .2s/DIV
3. Bật nguồn
  
4. Xoay Y-POS để điều chỉnh điểm sáng theo chiều đứng (điểm sáng sẽ chạy ngang qua màn hình với tốc độ chậm). Nếu vặn TIME/DIV ngược chiều kim đồng hồ (theo chiều giảm) thì điểm sáng sẽ di chuyển nhanh hơn và khi ở vị trí cỡ  $\mu\text{s}$  trên màn hình sẽ là một vạch sáng thay cho điểm sáng.

5. Điều chỉnh INTENS để thay đổi độ chói vệt FOCUS để thay đổi độ nét của vạch sáng trên màn hình.

6. Đưa tín hiệu chuẩn để kiểm tra độ chính xác của máy đưa đầu đo tới vị trí lấy chuẩn (hoặc là từ máy phát chuẩn hoặc ngay trên máy hiện sóng ở vị trí CAL 1Vpp, 1kHz). Với giá trị chuẩn như trên nếu VOLTS/DIV ở vị trí 1V/DIV và TIME/DIV ở vị trí 1ms/DIV thì trên màn hình xuất hiện một sóng vuông có biên độ đỉnh đỉnh 1 ô trên màn hình và độ rộng xung cũng là 1 ô trên màn hình. (xoay Y - POS và X - POS để đếm ô một cách chính xác)

Sau khi lấy lại các giá trị chuẩn ở trên, tùy thuộc chế độ làm việc mà ta sử dụng các nút điều khiển tương ứng.

#### **b. Các phần điều khiển chính**

##### **\* Điều khiển màn hình**

Phần này bao gồm:



+ Điều chỉnh độ sáng - INTENSITY - của dạng sóng. Thông thường khi tăng tần số quét cần tăng thêm độ sáng để tiện quan sát hơn. Thực chất đây là điều chỉnh điện áp lưới

+ Điều chỉnh độ nét – FOCUS - của dạng sóng. Thực chất là điều chỉnh điện áp các anot A1, A2 và A3

+ Điều chỉnh độ lệch của trục ngang – TRACE - (khi vị trí của máy ở những điểm khác nhau thì tác dụng của từ trường trái đất cũng khác nhau nên đôi khi phải điều chỉnh để có vị trí cân bằng)

##### **c. Điều khiển theo trục đứng**



Phần này sẽ điều khiển vị trí và tỉ lệ của dạng sóng theo chiều đứng. Khi tín hiệu đưa vào càng lớn thì VOLTS/DIV cũng phải ở vị trí lớn và ngược lại. Ngoài ra còn một số phân như

INVERT: Đảo dạng sóng

DC/AC/GD: hiển thị phần một chiều/xoay chiều/đất của dạng sóng

CH I/II: Chỉnh kênh 1 hoặc kênh 2

DUAL: Chỉnh cả 2 kênh

ADD: Cộng tín hiệu của cả hai kênh

Khi bấm nút INVERT dạng sóng của tín hiệu sẽ bị đảo ngược lại đảo pha

1800)

Khi gạt công tắc về vị trí GD trên màn hình sẽ xuất hiện một vệt ngang, dịch chuyển vị trí của đường này để xác định vị trí đất của tín hiệu.

Gạt công tắc về vị trí DC nghĩa là trong tín hiệu bao gồm cả thành phần một chiều và xoay chiều, gạt về vị trí AC là hiện dạng sóng đã tách thành phần một chiều. Xem hình dưới đây: (bên trái là ở chế độ DC và bên phải ở chế độ AC)

Khi ấn nút DUAL để chọn cả hai kênh thì trên màn hình sẽ xuất hiện 2 đồ thị của 2 dạng sóng ứng với 2 đầu đo. ADD để cộng các sóng với nhau. Nói chung vị trí của 3 nút CH I/II, DUAL và ADD sẽ cho các chế độ hiển thị khác nhau tùy thuộc vào từng loại máy.

***d. Điều khiển theo trục ngang***

Phần này điều khiển vị trí và tỉ lệ của dạng sóng theo chiều ngang. Khi tín hiệu đưa vào có tần số càng cao thì TIME/DIV phải càng nhỏ và ngược lại. Ngoài ra còn một số phần sau:

X - Y: ở chế độ này kênh thứ 2 sẽ làm trục X thay cho thời gian như ở chế độ thường.

***Chú ý:*** Khi máy hoạt động ở chế độ nhiều kênh thì cũng chỉ có một phần điều khiển theo trục ngang nên tần số quét khi đó sẽ là tần số quét chung cho cả 2 dạng sóng.

***e. Ứng dụng của máy hiện sóng trong kỹ thuật đo lường***

Máy hiện sóng hiện nay được gọi là máy hiện sóng vạn năng vì không đơn thuần chỉ là hiển thị dạng sóng mà nó còn thực hiện được nhiều kỹ thuật khác như thực hiện hàm toán học, thu nhận thông tin và xử lý số liệu và thậm chí còn phân tích cả phổ tín hiệu ...

Trong phần này chúng ta chỉ nói tới những ứng dụng cơ bản nhất của một máy hiện sóng.

***f. Quan sát tín hiệu***

Để quan sát được tín hiệu chỉ cần thiết lập máy ở chế độ đồng bộ trong và điều chỉnh tần số quét và trigơ để dạng sóng đứng yên trên màn hình. Khi này có thể xác định được sự biến thiên của tín hiệu theo thời gian như thế nào. Các máy hiện sóng hiện đại có thể cho phép cùng một lúc 2, 4 hoặc 8 tín hiệu dạng bất kỳ cùng một lúc và tần số quan sát có thể lên tới 400MHz.

**\* Đo điện áp**

Việc tính giá trị điện áp của tín hiệu được thực hiện bằng cách đếm số ô trên màn hình và nhân với giá trị VOLTS/DIV

**Ví dụ:** VOLTS/DIV chỉ 1V thì tín hiệu cho ở hình trên có:

$$V_p = 2,7 \text{ ô} \times 1V = 2,8V$$

$$V_{pp} = 5,4 \text{ ô} \times 1V = 5,4V$$

$$V_{rms} = 0,707V_p = 1.98V$$

Ngoài ra, với tín hiệu xung người ta còn sử dụng máy hiện sóng để xác định thời gian tăng sườn xung (rise time), giảm sườn xung (fall time) và độ rộng xung (pulse width) với cách tính như hình dưới.

**\* Đo tần số và khoảng thời gian**

Khoảng thời gian giữa hai điểm của tín hiệu cũng được tính bằng cách đếm số ô theo chiều ngang giữa hai điểm và nhân với giá trị của TIME/DIV

Việc xác định tần số của tín hiệu được thực hiện bằng cách tính chu kỳ theo cách như trên. Sau đó nghịch đảo giá trị của chu kỳ ta tính được tần số.

## TRƯỜNG CAO ĐẲNG NGHỀ VIỆT - ĐỨC HÀ TỈNH

**Ví dụ:** ở hình bên s/div là 1ms. Chu kỳ của tín hiệu điện dài 16 ô, do vậy chu kỳ là 16ms →  $f=1/16\text{ms}=62,5\text{Hz}$

### **\* Đo tần số và độ lệch pha bằng phương pháp so sánh**

Ngoài cách đo tần số thông qua việc đo chu kỳ như ở trên, có thể đo tần số bằng máy hiện sóng như sau: so sánh tần số của tín hiệu cần đo  $f_x$  với tần số chuẩn  $f_0$ . Tín hiệu cần đo đưa vào cực Y, tín hiệu tần số chuẩn đưa vào cực X. Chế độ làm việc này của máy hiện sóng gọi là chế độ X-Y mode và các sóng đều có dạng hình sin. Khi đó trên màn hình sẽ hiện ra một đường cong phức tạp gọi là đường cong Lissajou.

Điều chỉnh tần số chuẩn tới khi tần số cần đo là bội hoặc là ước nguyên của tần số chuẩn thì trên màn hình sẽ có một đường Lissajou đứng yên. Hình dạng của đường Lissajou rất khác nhau tùy thuộc vào tần số giữa hai tín hiệu và độ lệch pha giữa chúng. Xem hình bên.

Với n là số múi theo chiều ngang và m số múi theo chiều dọc (hoặc có thể lấy số điểm cắt lớn nhất theo mỗi trục hoặc số điểm tiếp tuyến với hình Lissajou của mỗi trục)

Phương pháp hình Lissajou cho phép đo tần số trong khoảng từ 10Hz tới tần số giới hạn của máy.

Nếu muốn đo độ lệch pha ta cho 2 tần số của hai tín hiệu bằng nhau, khi đó đường Lissajou có dạng elip. Điều chỉnh Y - POS và X - POS sao cho tâm của elip trùng với tâm của màn hình hình (gốc tọa độ). Khi đó góc lệch pha được tính bằng:

A với A, B là đường kính trục dài và đường kính trục ngắn của elip

## TRƯỜNG CAO ĐẲNG NGHỀ VIỆT - ĐỨC HÀ TỈNH

Nhược điểm của phương pháp này là không xác định được dấu của góc pha và sai số của phép đo khá lớn (5 – 10%)

### **4.3. SỬ DỤNG MÁY BIẾN ÁP ĐO LƯỜNG.**

#### ***Câu hỏi 1 :***

Cơ cấu đo dùng trong công tơ điện là loại cơ cấu đo nào sau đây:

- a. Cơ cấu đo kiểu từ điện.
- b. Cơ cấu đo kiểu điện động
- c. Cơ cấu đo kiểu cảm ứng.

#### **Câu hỏi 1 :**

Cơ cấu đo dùng trong công tơ điện là loại cơ cấu đo nào sau đây:

- a. Cơ cấu đo kiểu từ điện.
- b. Cơ cấu đo kiểu điện từ.
- c. Cơ cấu đo kiểu cảm ứng.

***Trả lời:*** Câu trả lời đúng là c

#### ***Câu hỏi 2 :***

Cơ cấu đo kiểu điện từ là cơ cấu đo có :

- a. Cuộn dây đứng yên khi làm việc.
- b. Cuộn dây quay tròn khi làm việc.
- c. Cuộn dây chuyển động tịnh tiến khi làm việc.

#### ***Câu hỏi 2 :***

Cơ cấu đo kiểu điện từ là cơ cấu đo có :

- a. Cuộn dây đứng yên khi làm việc.
- b. Cuộn dây quay tròn khi làm việc.
- c. Cuộn dây chuyển động tịnh tiến khi làm việc.

***Trả lời:*** Câu trả lời đúng là a.

#### **4.3.1. Máy biến điện áp.**

Máy biến điện áp trong đo lường hầu hết là máy biến áp giảm áp. Chúng được thiết kế để là giảm điện áp cuộn thứ cấp xuống còn khoảng 100 (V) , (đây là giá trị điện áp thích hợp với hầu hết các thiết bị đo).

**TRƯỜNG CAO ĐẲNG NGHỀ VIỆT - ĐỨC HÀ TỈNH**

Máy biến áp dùng để biến điện áp cao thành điện áp nhỏ để đo lường và điều khiển. Công suất của máy biến điện áp 25÷1000VA. Máy biến điện áp có dây quấn sơ nối với lưới điện và dây quấn thứ nối với Vôn mét, cuộn dây áp của Watt kế, cuộn dây của các rơ le bảo vệ, hoặc các thiết bị điều khiển khác. Các loại dụng cụ này có tổng trở Z rất lớn nên máy biến điện áp xem như làm việc ở chế độ không tải, do đó sai số về trị số nhỏ và bằng:

$$\Delta U\% = \frac{U_2 \frac{W_1}{W_2} - U_1}{U_1} 100$$

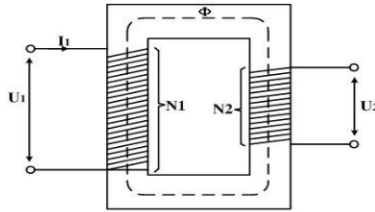
Góc  $\delta_u$  giữa  $U_1$  và  $U'_2$  cũng nhỏ.

**\* Cấu tạo**

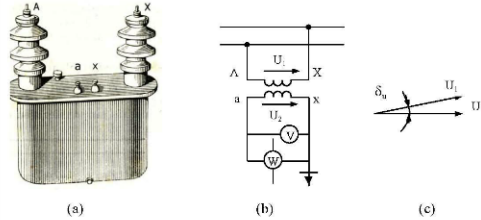
Máy biến điện áp là một máy biến áp cách ly với cuộn sơ cấp có số vòng lớn và cuộn thứ cấp có ít vòng.



Hình dạng bên ngoài của máy biến điện áp.



**Đặc điểm cấu tạo của máy biến điện áp**



Hình 7.6 Máy biến điện áp

**Cấp chính xác và sai số của máy biến điện áp**

## TRƯỜNG CAO ĐẲNG NGHỀ VIỆT - ĐỨC HÀ TỈNH

Cấp chính xác	0.5	1	3
Sai số $\Delta U$	$\pm 0.5\%$	$\pm 1\%$	$\pm 40'$

A - Máy Biến Áp phân phối 1 pha 8.66-12.7/ 0.46-0.23 KV

- Tần số 50 Hz.
- Chế độ làm mát : ONAN.
- Chất làm mát : Dầu khoáng cách điện
- Dung lượng : 10 KVA ~ 100 KVA.
- Điện áp sơ cấp : 8.66 - 12.7 KV
- Điện áp thứ cấp : 0.46 - 0.23 KV
- Vật liệu chế tạo cuộn dây: Đồng.
- Màu sơn vỏ máy : Màu xám nhạt.
- Nơi đặt : Trong nhà hoặc ngoài trời
- Vận hành : Liên tục



### *\* Nguyên lý làm việc của máy biến điện áp*

Máy biến điện áp được thiết kế sao cho điện áp dây quấn thứ cấp ít thay đổi khi tải thay đổi từ lúc không tải đến đầy tải (tải định mức).

Trạng thái làm việc của các máy biến áp điện áp gần như không tải vì chúng làm việc với những thiết bị có tổng trở lớn (Volt kế, cuộn áp Wat kế, cuộn áp role bảo vệ. . .).

**Khi sử dụng máy biến áp điện áp cần chú ý không được nối tắt mạch thứ cấp vì sẽ gây sự cố ngắn mạch lưới điện ở sơ cấp.**

### **4.3.2. Máy biến dòng điện.**

Trong hầu hết các thiết bị đo lường và điều khiển dòng điện đều được qui về chuẩn 5A nên các máy biến dòng điện sử dụng trong các lĩnh vực này thường có dòng điện ngõ ra cuộn thứ cấp là 5A.

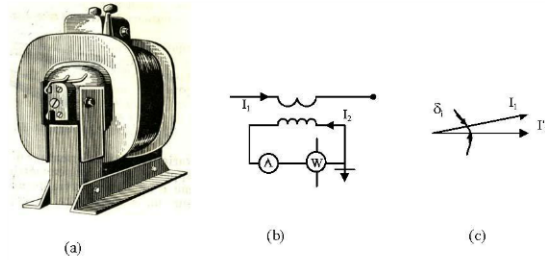
Như đã đề cập đến ở trên, cuộn thứ cấp của máy biến dòng thường được nối với các thiết bị đo như ampere kế, watt kế hoặc các thiết bị tự động khác. Có một lưu ý là khi sử dụng máy biến dòng để cung cấp cho nhiều thiết bị thì phải mắc nối tiếp các thiết bị này với nhau.

Máy biến dòng điện dùng để biến dòng điện lớn thành dòng điện nhỏ để đo lường bằng các dụng cụ đo tiêu chuẩn và điều khiển.

**TRƯỜNG CAO ĐẲNG NGHỀ VIỆT - ĐỨC HÀ TỈNH**

*Cấp chính xác và sai số của máy biến dòng điện*

Cc xác	0.2	0.5	1	3	10
S số $\Delta I$					



Hình 7.7 Máy biến dòng điện

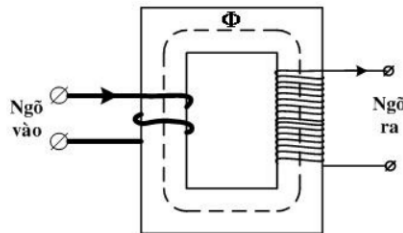
**\* Cấu tạo**

Máy biến dòng điện cũng giống như một máy biến áp cách ly thông thường gồm có lõi thép được ghép từ các lá thép kỹ thuật điện, hai cuộn dây quấn sơ cấp và thứ cấp đặt trên lõi thép.

Điểm đặc biệt của máy biến dòng nằm ở tiết diện và số vòng dây quấn cuộn sơ cấp và thứ cấp.

Cuộn dây sơ cấp được quấn rất ít vòng thường chỉ được quấn một vòng dây. Dây quấn sơ cấp có tiết diện rất lớn do máy phải làm việc ở điều kiện gần như ngắn mạch. Đường kính dây quấn sơ cấp phụ thuộc vào cấp công suất của máy biến dòng; máy biến dòng có công suất càng lớn thì đường kính dây quấn sơ cấp càng lớn.

Dây quấn thứ cấp của máy biến dòng có tiết diện nhỏ và có rất nhiều vòng .



*Sơ đồ nguyên lý máy biến dòng.*

Hình dạng bên ngoài của máy biến dòng điện thường là hình tròn . Vì có dạng hình tròn kín nên thông thường máy biến dòng được lắp trong lúc lắp đặt mạng điện.





*Hình dáng bên ngoài của máy biến dòng điện*



**\* Nguyên lý hoạt động của máy biến dòng:**

Như đã đề cập đến ở trên, máy biến dòng thường xuyên hoạt động ở tình trạng gần như ngắn mạch. Do đó, một điều rất quan trọng khi sử dụng máy là không được phép để máy hoạt động ở chế độ không tải vì điện áp không tải phía thứ cấp của máy biến dòng điện rất lớn có thể gây hỏng lớp cách điện dẫn đến phá hủy máy.

Trạng thái làm việc của máy biến dòng ở trạng thái ngắn mạch vì chúng làm việc với các thiết bị có tổng trở rất nhỏ (Ampere kế, cuộn dòng Wat kế, cuộn dòng rơle bảo vệ). **Khi sử dụng máy biến dòng điện cần chú ý không được để dây quấn thứ cấp hở mạch vì dòng điện từ hóa sẽ rất lớn, lõi thép bảo hòa sâu sẽ nóng lên và làm cháy dây quấn.**

Ngoài ra, suất điện động sẽ nhọn đầu gây nên điện áp cao đến hàng nghìn Volt ở thứ cấp dẫn đến không an toàn cho người sử dụng.

**Câu hỏi:**

1. Em hãy cho biết vì sao khi sử dụng máy biến dòng điện không được để dây quấn thứ cấp hở mạch? Giải thích?

2. Khi sử dụng máy biến điện áp người ta nối tắt mạch thứ cấp điện hay không? Hãy trình bày hiện tượng xảy ra khi ta nối tắt mạch thứ cấp?

**PHẦN V. TÀI LIỆU CẦN THAM KHẢO**

- [1] Kỹ thuật đo - Ngô Văn Ky, Trường Đại Học Bách Khoa Thành phố Hồ Chí Minh, 1993.
- [2] Cẩm nang kỹ thuật kèm ảnh dùng cho thợ đường dây và trạm mạng điện trung thế
- [3] Trần Nguyên Thái, Trường Kỹ Thuật Điện, Công Ty Điện lực 2, Bộ năng lượng - 1994.
- [4] Vật liệu điện - Nguyễn Xuân Phú, NXB Khoa học và Kỹ thuật , 1998.
- [5] Cung cấp điện - Nguyễn Xuân Phú, NXB Khoa học và Kỹ thuật , 1998.
- [6] Đo lường và điều khiển bằng máy tính - Ngô Diên Tập, NXB Khoa học và Kỹ thuật, 1997.
- [7] Sửa chữa điện máy công nghiệp - Bùi Văn Yên, NXB Đà Nẵng, 1998.
- [8] Kỹ Thuật Điện - Đặng Văn Đào, NXB Giáo Dục, 1999. Giáo trình An toàn lao động - Nguyễn Thế Đạt, Vụ Trung học chuyên nghiệp - Dạy nghề - NXB Giáo Dục, 2002.
- [9] Giáo trình An toàn điện - Nguyễn Đình Thắng, Vụ Trung học chuyên nghiệp - Dạy nghề - NXB Giáo Dục, 2002.
- [10] Giáo trình Đo lường các đại lượng điện và không điện - Nguyễn Văn Hoà, Vụ Trung học chuyên nghiệp - Dạy nghề - NXB Giáo Dục, 2002.
- [11] Phạm Thượng Hàn (chủ biên) - *Kỹ thuật đo lường các đại lượng vật lý T1,2* – NXB Giáo dục 1997.
- [12] Lê Văn Doanh (chủ biên) - *Các bộ cảm biến trong kỹ thuật đo lường và điều khiển* - NXB KH&KT 2001.
- [13] Nguyễn Ngọc Tân (chủ biên) - *Kỹ thuật đo* - NXB KH&KT 2000.
- [14] Phan Quốc Phô (chủ biên) - *Giáo trình cảm biến* - NXB KH&KT 2005.
- [15] Ernest O. Doebelin - *Measurement Systems-Application and Design - 5st edition* - McGraw-Hill
- [16] Các trang web của các hãng sản xuất thiết bị đo lường và cảm biến: OMRON, ABB, FLUKE, SIEMENS, HP, HONEYWELL, OMEGA ...
- [17] Tạp chí “Tự động hóa ngày nay” + Trang web của tạp chí Tự động hóa ngày nay: [www.automation.org.vn](http://www.automation.org.vn) - chuyên mục “Thế giới cảm biến”.
- [18] Trang web [www.hiendaihoa.com](http://www.hiendaihoa.com)