

TS. NGUYỄN HỮU CÔNG

KỸ THUẬT ĐO LƯỜNG

NHÀ XUẤT BẢN ĐẠI HỌC QUỐC GIA HÀ NỘI

LỜI GIỚI THIỆU

Quyển sách này nhằm mục đích cung cấp kiến thức cơ bản về thiết bị và phương pháp đo lường các đại lượng điện. Nội dung giáo trình phục vụ cho sinh viên các ngành Điện - Điện tử - Máy tính của các trường đại học. Đồng thời cũng giúp ích cho sinh viên các chuyên ngành khác và các cán bộ kỹ thuật có quan tâm đến lĩnh vực đo điện.

Khi viết giáo trình này chúng tôi có tham khảo kinh nghiệm của các nhà giáo đã giảng dạy nhiều năm ở các trường đại học, đồng thời đã cập nhật những nội dung mới, vừa đáp ứng yêu cầu nâng cao chất lượng đào tạo phục vụ sự nghiệp công nghiệp hoá - hiện đại hoá, vừa đảm bảo tính sát thực của các thiết bị đo cũng như phương pháp đo mà các cán bộ kỹ thuật đang vận hành trong thực tế.

Tuy các tác giả đã có nhiều cố gắng khi biên soạn, nhưng giáo trình sẽ không tránh khỏi những khiếm khuyết. Chúng tôi mong nhận được sự đóng góp ý kiến của quý đồng nghiệp và các bạn sinh viên để giáo trình này được hoàn thiện.

Sau hết chúng tôi xin chân thành cảm ơn sự đóng góp đáng kể của Thạc sỹ Nguyễn Văn Chí, cảm ơn Khoa Điện tử, Trường Đại học Kỹ thuật Công nghiệp, Đại học Thái Nguyên đã giúp đỡ và tạo điều kiện cho chúng tôi hoàn thành quyển sách này.

Tác giả

Chương 1

KHÁI NIỆM CHUNG VỀ ĐO LƯỜNG

1.1. Định nghĩa và phân loại thiết bị

1.1.1. Định nghĩa

Đo lường là một quá trình đánh giá định lượng đối tượng cần đo để có kết quả bằng số so với đơn vị.

Với định nghĩa trên thì đo lường là quá trình thực hiện ba thao tác chính: Biến đổi tín hiệu và tin tức.

- So sánh với đơn vị đo hoặc so sánh với mẫu trong quá trình đo lường.

- Chuyển đơn vị, mã hoá để có kết quả bằng số so với đơn vị.

Căn cứ vào việc thực hiện các thao tác này ta có các phương pháp và hệ thống đo khác nhau.

Thiết bị đo và thiết bị mẫu

Thiết bị đo là một hệ thống mà đại lượng đo gọi là lượng vào, lượng ra là đại lượng chỉ trên thiết bị (là thiết bị đo tác động liên tục) hoặc là con số kèm theo đơn vị đo (thiết bị đo hiện số). Đôi khi lượng ra không hiển thị trên thiết bị mà đưa tới trung tâm tính toán để thực hiện các Algorithm kỹ thuật nhất định.

- Thiết bị mẫu dùng để kiểm tra và hiệu chỉnh thiết bị đo và đơn vị đo.

Theo quy định hiện hành thiết bị mẫu phải có độ chính xác lớn hơn ít nhất hai cấp so với thiết bị kiểm tra.

Ví dụ: Muốn kiểm định công tơ cấp chính xác 2 thì bàn kiểm định công tơ phải có cấp chính xác ít nhất là 0,5.

1.1.2. Phân loại

1.1.2.1. Thiết bị đo lường

Có nhiều cách phân loại song có thể chia thiết bị đo lường thành hai loại chính là thiết bị đo chuyển đổi thẳng và thiết bị đo kiểu so sánh.

Thiết bị đo chuyển đổi thẳng

Đại lượng cần đo đưa vào thiết bị dưới bất kỳ dạng nào cũng được biến thành góc quay của kim chỉ thị. Người đo đọc kết quả nhờ thang chia độ và những quy ước trên mặt thiết bị, loại thiết bị này gọi là thiết bị đo cơ điện. Ngoài ra lượng ra còn có thể biến đổi thành số, người đo đọc kết quả rồi nhân với hệ số ghi trên mặt máy hoặc máy tự động làm việc đó, ta có thiết bị đo hiện số.

Thiết bị đo kiểu so sánh

Thiết bị so sánh cũng có thể là chỉ thị cơ điện hoặc là chỉ thị số. Tùy theo cách so sánh và cách lập đại lượng bù (bộ mã hoá số tương tự) ta có các thiết bị so sánh khác nhau như: thiết bị so sánh kiểu tuý động (đại lượng đo x và đại lượng bù x_u luôn biến đổi theo nhau); thiết bị so sánh kiểu quét (đại lượng bù x_u biến thiên theo một quy luật thời gian nhất định và sự cân bằng chỉ xảy ra tại một thời điểm trong chu kỳ).

Ngoài ra cũng căn cứ vào việc lập đại lượng bù người ta chia thành dụng cụ mã hoá số xung, tần số xung, thời gian xung. Căn cứ vào điều kiện cân bằng người ta chia thành dụng cụ bù không lệch (zero) và dụng cụ bù có lệch (vi sai).

Căn cứ vào quan hệ giữa lượng ra và lượng vào, người ta chia thành: thiết bị đo trực tiếp (đại lượng ra biểu thị trực tiếp đại lượng vào), thiết bị đo gián tiếp (đại lượng ra liên quan tới nhiều đại lượng vào thông qua những biểu thức toán học xác định), thiết bị đo kiểu hợp bộ (nhiều đại lượng ra liên quan tới nhiều đại lượng vào thông qua các phương trình tuyến tính).

1.1.2.2. Chuyển đổi đo lường

Có hai khái niệm:

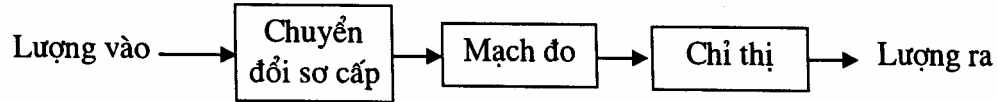
- Chuyển đổi chuẩn hoá: Có nhiệm vụ biến đổi một tín hiệu điện phi tiêu chuẩn thành tín hiệu điện tiêu chuẩn (thông thường $U = 0 \div 10V$; $I = 4 \div 20mA$).

Với loại chuyển đổi này chủ yếu là các bộ phân áp, phân dòng, biến điện áp, biến dòng điện, các mạch khuếch đại... đã được nghiên cứu kỹ ở các giáo trình khác nên ta không xét.

- Chuyển đổi sơ cấp (S: Sensor): Có nhiệm vụ biến một tín hiệu không điện sang tín hiệu điện, ghi nhận thông tin giá trị cần đo. Có rất nhiều loại chuyển đổi sơ cấp khác nhau như: chuyển đổi điện trở, điện cảm, điện dung, nhiệt điện, quang điện...

1.1.2.3. Tổ hợp thiết bị đo

Với một thiết bị cụ thể (một kênh):



Hình 1.1. Cấu trúc hệ thống đo một kênh

+ Chuyển đổi đo lường: biến tín hiệu cần đo thành tín hiệu điện.

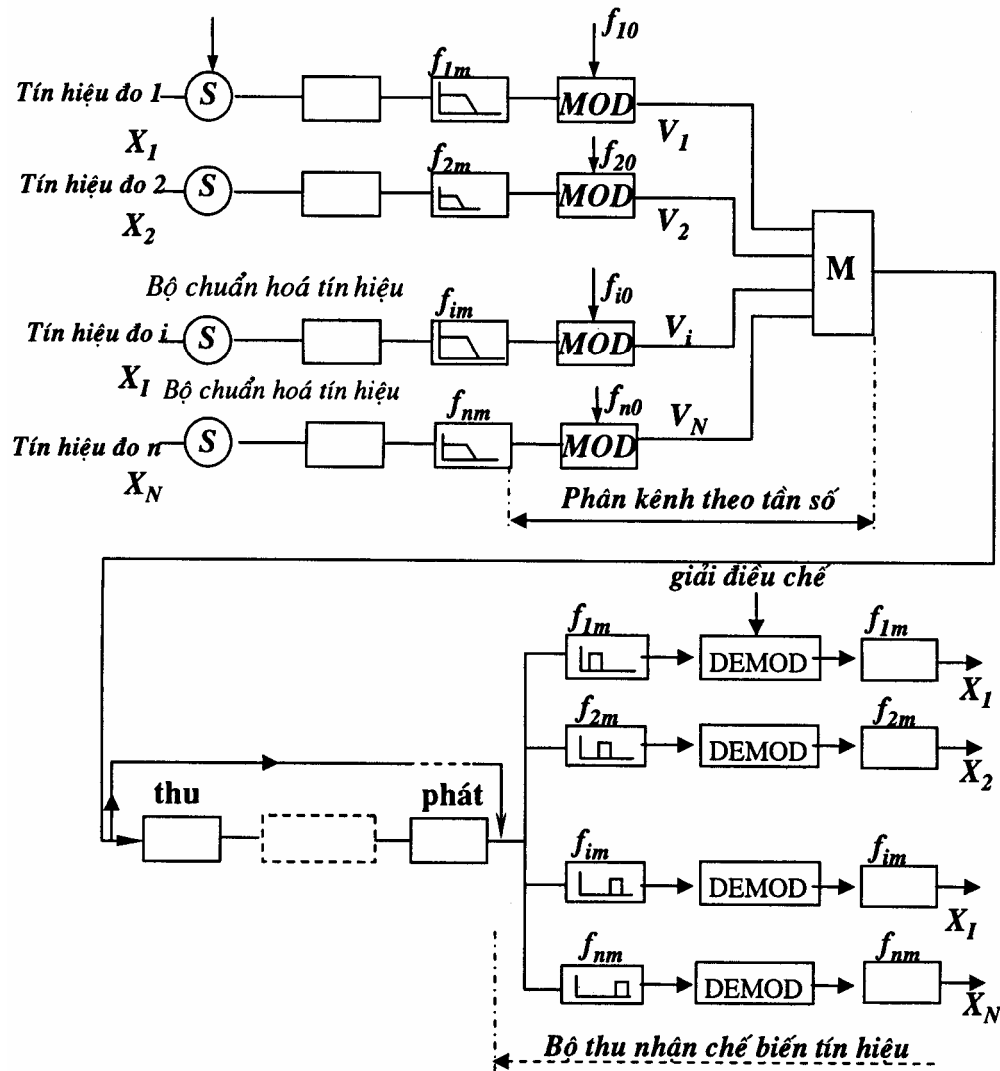
+ Mạch đo: thu nhận, xử lý, khuếch đại thông tin... bao gồm: nguồn, các mạch khuếch đại, các bộ biến thiên A/D, D/A, các mạch phụ...

+ Chỉ thị: thông báo kết quả cho người quan sát, thường gồm chỉ thị số và chỉ thị cơ điện, chỉ thị tự ghi, v.v...

1.1.2.4. Với hệ thống đo lường nhiều kênh

Trường hợp cần đo nhiều đại lượng, mỗi đại lượng đo ở một kênh, như vậy tín hiệu đo được lấy từ các sensor qua bộ chuyển đổi chuẩn hoá tới mạch điều chế tín hiệu ở mỗi kênh, sau đó sẽ đưa qua phân kênh (multiplexer) để được sắp xếp tuần tự truyền đi trên cùng một hệ thống dẫn truyền. Để có sự phân biệt, các đại lượng đo trước khi đưa vào mạch phân kênh cần phải mã hoá hoặc điều chế (Modulation - MOD) theo tần số khác nhau (thí dụ như f_{10} , f_{20} ...) cho mỗi tín hiệu của đại lượng đo.

Tại nơi nhận tín hiệu lại phải giải mã hoặc giải điều chế (Demodulation - DEMOD) để lấy lại từng tín hiệu đo. Đây chính là hình thức đo lường từ xa (TElemetry) cho nhiều đại lượng đo.



Hình 1.2. Hệ thống đo lường nhiều kênh

1.2. Sơ đồ cấu trúc thiết bị đo lường

1.2.1. Hệ thống đo biến đổi thẳng

Trong hệ thống đo biến đổi thẳng, đại lượng vào x qua nhiều khâu biến đổi trung gian được biến thành đại lượng ra z . Quan hệ giữa z và x có thể viết:

$$z = f(x)$$

trong đó $f()$ là một toán tử thể hiện cấu trúc của thiết bị đo.

Trong trường hợp quan hệ lượng vào và lượng ra là tuyến tính ta có thể viết:

$$z = S.x \quad (1.1)$$

ở đây S gọi là độ nhạy tĩnh của thiết bị.

- Nếu một thiết bị gồm nhiều khâu nối tiếp thì quan hệ giữa lượng vực và lượng ra có thể viết:

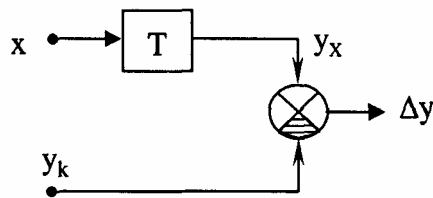
$$z = \prod_{i=1}^n S_i . x \quad (1-2)$$

trong đó S_i là độ nhạy của khâu thứ i trong thiết bị.

1.2.2. Hệ thống đo kiểu so sánh

Trong thiết bị đo kiểu so sánh đại lượng vào x thường được biến đổi thành đại lượng trung gian y_x qua một phép biến đổi T:

$$y_x = T.x.$$



Hình 1.3. Hệ thống đo kiểu so sánh

Sau đó y_x được so sánh với đại lượng bù y_k

Ta có: $\Delta y = y_x - y_k$

Có thể căn cứ vào thao tác so sánh để phân loại các phương pháp đo khác nhau.

1.2.2.1. Phân loại phương pháp đo căn cứ vào điều kiện cân bằng

a) Phương pháp so sánh kiểu cân bằng (Hình 1.4)

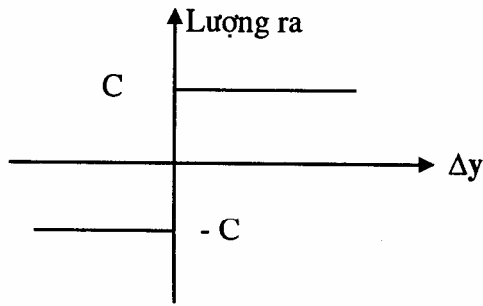
Trong phương pháp này, đại lượng vào so sánh: $y_x = \text{const}$; đại lượng bù $y_k = \text{const}$.

Tại điểm cân bằng:

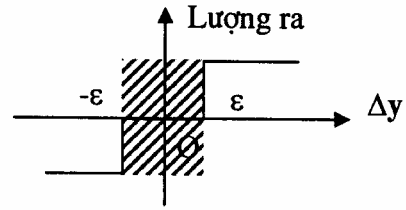
$$\Delta y = y_x - y_k \rightarrow 0.$$

b) Phương pháp so sánh không cân bằng (Hình 1.5)

Cũng giống như trường hợp trên song $\Delta y \rightarrow \varepsilon \neq 0$



Hình 1.4. Phương pháp so sánh cân bằng



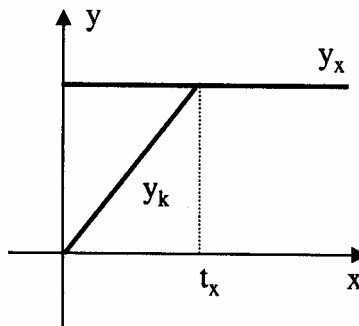
Hình 1.5. Phương pháp so sánh không cân bằng

1.2.2.2. Phân loại phương pháp đo căn cứ vào cách tạo điện áp bù

a) Phương pháp mã hoá thời gian

Trong phương pháp này đại lượng vào $y_x = \text{const}$ còn đại lượng bù y_k cho tăng tỉ lệ với thời gian t :

$$y_k = y_0 \cdot t \quad (y_0 = \text{const})$$



Hình 1.6. Phương pháp mã hóa thời gian

Tại thời điểm cân bằng $y_x = y_k = y_0 \cdot t_x$

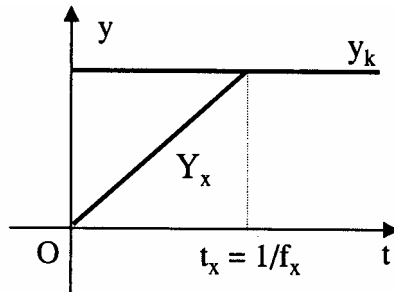
$$\Rightarrow t_x = \frac{y_x}{y_0} \quad (1-3)$$

Đại lượng cần đo y_x được biến thành khoảng thời gian t_x ở đây phép so sánh phải thực hiện một bộ ngưỡng

$$\Delta y = \text{sign}(y_x - y_k) = \begin{cases} 1 & y_x \geq y_k \\ 0 & y_x < y_k \end{cases}$$

b) Phương pháp mã hoá tần số xung

Trong phương pháp này đại lượng vào y_x cho tăng tỉ lệ với đại lượng cần đo x và khoảng thời gian t : $y_x = t.x$, còn đại lượng bù y_k được giữ không đổi.



Hình 1.7. Phương pháp mã hoá tần số xung

Tại điểm cân bằng có:

$$y_x = x.t_x = y_k = \text{const}$$

$$f_x = 1/t_x = x/y_k. \quad (1-4)$$

Đại lượng cần đo x đã được biến thành tần số f_x . Ở đây phép so sánh cũng phải thực hiện một bộ ngưỡng.

$$\Delta y = \text{sign}(y_k - y_x) = \begin{cases} 1 & \text{nếu } y_k \geq y_x \\ 0 & \text{nếu } y_k < y_x \end{cases}$$

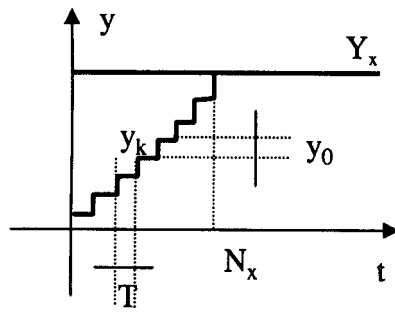
c) Phương pháp mã hoá số xung

Trong phương pháp này đại lượng vào $y_x = \text{const}$, còn đại lượng bù y_k cho tăng tỉ lệ với thời gian t theo quy luật bậc thang với những bước nhảy không đổi gọi là bước lượng tử.

$T = \text{const}$ còn gọi là xung nhịp.

Ta có:

$$y_k = y_0 \sum_{i=1}^n 1(t-iT) \quad (1-5)$$



Hình 1.8. Phương pháp mã hoá số xung

Tại điểm cân bằng đại lượng vào y_x được biến thành con số N_x

$$y_x \approx N_x \cdot y_0 \quad (1-6)$$

Để xác định được điểm cân bằng, phép so sánh cũng phải thực hiện một bộ ngưỡng:

$$\Delta y = \text{sign}(y_x - y_k) = \begin{cases} 1 & \text{nếu } y_x \geq y_k \\ 0 & \text{nếu } y_x < y_k \end{cases}$$

Ngoài ra còn phương pháp mã hoá số xung ngược, phương pháp đếm xung, phương pháp trùng phùng.

1.3. Các đặc tính của thiết bị đo

1.3.1. Độ nhạy, độ chính xác và các sai số của thiết bị đo

1.3.1.1. Độ nhạy và ngưỡng độ nhạy

Ta biết phương trình cơ bản của thiết bị đo là $z = f(x)$. Để có một sự đánh giá về quan hệ giữa lượng vào và lượng ra của thiết bị đo, ta dùng khái niệm về độ nhạy của thiết bị:

$$S = \frac{\Delta z}{\Delta x} \quad (1-7)$$

trong đó: Δz là biến thiên của lượng ra và Δx là biến thiên của lượng vào.

Nói chung S là một hàm phụ thuộc x nhưng trong phạm vi Δx đủ nhỏ thì S là một hằng số. Với thiết bị có quan hệ giữa lượng vào và lượng ra là tuyến tính, ta có thể viết: $z = S \cdot x$, lúc đó S gọi là độ nhạy tĩnh của thiết

bị đo.

Trong trường hợp thiết bị đo gồm nhiều khâu biến đổi nối tiếp thì độ nhạy được tính $S = \prod_{i=1}^n S_i$, với S_i là độ nhạy của khâu thứ i trong thiết bị.

Theo lý thuyết khi xét tới quan hệ giữa z và x thì x có thể nhỏ bao nhiêu cũng được, song trên thực tế khi $\Delta x < \varepsilon$ nào đó thì Δz không thể thấy được.

Ví dụ 1.1: Khi phụ tải tiêu thụ qua một công tơ một pha 10A nhỏ hơn 10W (chẳng hạn) thì công tơ không quay nữa.

Nguyên nhân của hiện tượng này rất phức tạp, có thể do ma sát, do hiện tượng trễ... ε được gọi là ngưỡng độ nhạy của thiết bị đo.

Có thể quan niệm ngưỡng độ nhạy của thiết bị đo là giá trị nhỏ nhất mà thiết bị đo có thể phân biệt được.

Tuy nhiên ngưỡng độ nhạy của các thiết bị đo khác nhau rất khác nhau nó chưa đặc trưng cho tính nhạy của thiết bị. Vì vậy để so sánh chúng với nhau người ta phải xét tới quan hệ giữa ngưỡng độ nhạy và thang đo của thiết bị.

Thang đo (D) là khoảng từ giá trị nhỏ nhất tới giá trị lớn nhất tuân theo phương pháp đo lường của thiết bị

$$D = x_{\max} - x_{\min} \quad \{ x_{\min} \text{ thường} = 0 \}.$$

Từ đó đưa ra khái niệm về khả năng phân ly của thiết bị đo:

$$R = \frac{D}{\varepsilon} = \frac{X_{\max} - X_{\min}}{\varepsilon}$$

và so sánh các R với nhau.

1.3.1.2. Độ chính xác và các sai số của thiết bị đo

- Độ chính xác là tiêu chuẩn quan trọng nhất của thiết bị đo.. Bất kỳ một phép đo nào đều có sai lệch so với đại lượng đúng

$$\delta_i = x_i - x_d$$

trong đó x_i là kết quả của lần đo thứ

x_d là giá trị đúng của đại lượng đo

δ_i là sai lệch của lần đo thứ i

- Sai số tuyệt đối của một thiết bị đo được định nghĩa là giá trị lớn nhất của các sai lệch gây nên bởi thiết bị trong khi đo:

$$\Delta x = \max[\delta_i].$$

- Sai số tuyệt đối chùn đánh giá được tính chính xác và yêu cầu công nghệ của thiết bị đo. Thông thường độ chính xác của một phép đo hoặc một thiết bị đo được đánh giá bằng sai số tương đối:

+ Với một phép đo, sai số tương đối được tính

$$\beta = \frac{\Delta x}{x} \text{ với } x \text{ là giá trị đại lượng đo.}$$

+ Với một thiết bị đo, sai số tương đối được tính

$$\gamma = \frac{\Delta x}{D}.$$

Giá trị, $\gamma\%$ gọi là sai số tương đối quy đổi dùng để sắp xếp các thiết bị đo thành các cấp chính xác.

Theo quy định hiện hành của nhà nước, các dụng cụ đo cơ điện có cấp chính xác: 0,05; 0,1; 0,2; 0,5; 1; 1,5; 2; 2,5; và 4.

Thiết bị đo số có cấp chính xác: 0,005; 0,01; 0,02; 0,05; 0,1; 0,2; 0,5; 1.

Khi biết cấp chính xác của một thiết bị đo ta có thể xác định được sai số tương đối quy đổi và suy ra sai số tương đối của thiết bị trong các phép đo cụ thể.

Ta có:

$$\beta = \gamma \cdot \frac{D}{x} \tag{1-8}$$

trong đó γ là sai số tương đối của thiết bị đo, phụ thuộc cấp chính xác và không đổi nên sai số tương đối của phép đo càng nhỏ nếu D/x dần đến 1.

Vì vậy khi đo một đại lượng nào đó cố gắng chọn D sao cho: $D \approx x$.

1.3.2. Điện trở vào và tiêu thụ công suất của thiết bị đo

Thiết bị đo phải thu năng lượng từ đối tượng đo dưới bất kì hình thức

nào để biến thành đại lượng đầu ra của thiết bị. Tiêu thụ năng lượng này thể hiện ở phản tác dụng của thiết bị đo lên đối tượng đo gây ra những sai số mà ta thường biết được nguyên nhân gọi là sai số phụ về phương pháp. Trong khi đo ta cố gắng phân đấu sao cho sai số này không lớn hơn sai số cơ bản của thiết bị.

- Với các thiết bị đo cơ học sai số chủ yếu là phản tác dụng của chuyển đổi. Với các thiết bị đo dòng áp, sai số này chủ yếu là do ảnh hưởng của tổng trở vào và tiêu thụ công suất của thiết bị.

Tồn hao năng lượng với mạch đo dòng áp là:

$$\Delta P_A = R_A \cdot I^2.$$

$$\Delta P_U = U^2 / R_V.$$

Vậy ta tạm tính sai số phụ do ảnh hưởng của tổng trở vào là:

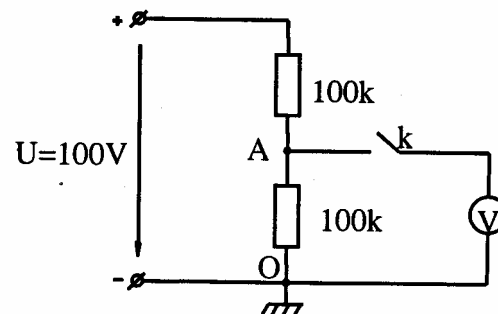
$$\gamma_I = R_A / R_t ; \gamma_U = R_t / R_V$$

với R_A là điện trở của ampermet hoặc phần tử phản ứng với dòng;

R_V là điện trở của volmet hoặc phần tử phản ứng với áp;

R_t là điện trở tải.

Ví dụ 1.2: Phân tích sai số phụ khi đo áp trên Hình 1.9.



Hình 1.9. Ví dụ về sai số phụ

+ Giả sử cần kiểm tra điện áp U_{A0} .

Theo lý lịch $[U_{A0}] = 50 \pm 2$ (V).

+ Xét khi chưa đo (k mở), ta có ngay:

$$U_{A0} = 50 \text{ V.}$$

+ Xét khi đo (k đóng).

Giả sử $R_V = 100 \text{ k}\Omega$. Vậy điện áp đo được: $U_V = U_{A0} = 33,3 \text{ V}$.

Sai số từ 33 V trở lên 50 V chính là sai số phụ về phương pháp do ảnh hưởng điện trở của V sinh ra.

1.3.3. Các đặc tính động của thiết bị đo

Khi đo các đại lượng biến thiên ta phải xét đến đặc tính động của dụng cụ đo. Đặc tính động của dụng cụ đo thể hiện ở các đặc trưng sau:

- Hàm truyền đạt của thiết bị đo hay độ nhạy động của thiết bị đo $K(p)$ tức là quan hệ giữa đại lượng ra và đại lượng vào ở trạng thái động

$$S(p) = \frac{Y(p)}{X(p)}. \quad (1-9)$$

Đặc tính này thể hiện dưới các dạng sau:

+ Đặc tính quá độ ứng với tín hiệu vào có dạng bước nhảy:

$$x(t) = A.1(t - \tau);$$

+ Đặc tính xung hay tín hiệu vào là xung hẹp:

$$x(t) = A.\delta(t - \tau);$$

+ Đặc tính tần lúc tín hiệu vào có dạng hình sin:

$$x(t) = A.e^{j\omega t};$$

+ Đặc tính tần thể hiện ở hai dạng: đặc tính biên tần $A(\omega)$ và đặc tính pha tần $\theta(\omega)$.

Đặc tính còn thể hiện dưới dạng sai số tần số, sai số này thể hiện ở sai số biên tần γ_A và sai số pha tần γ_θ :

$$\gamma_A = \frac{A(\omega) - A_0}{A_0}$$

$$\gamma_\theta = \theta(\omega) - \theta_0$$

trong đó: $A(\omega)$ là biên độ đầu ra phụ thuộc tần số;

A_0 là biên độ của khâu lý tưởng không phụ thuộc tần số;

$\theta(\omega)$ là góc pha ở đầu ra phụ thuộc tần số;

θ_0 là góc pha lý tưởng không phụ thuộc tần số.

Trong dụng cụ đo các sai số này phải nhỏ hơn một giá trị cho phép

quy định bởi nhà nước. Giải tần của dụng cụ đo là khoảng tần số của đại lượng vào để cho sai số không vượt quá giá trị cho phép.

Thời gian ổn định hay thời gian đo của thiết bị là thời gian kể từ khi đặt tín hiệu vào của thiết bị cho tới khi thiết bị ổn định có thể biết được kết quả.

Chính dựa vào thời gian đo của thiết bị này cho phép ta tự động rời rạc hoá đại lượng cần đo để đo giá trị tức thời, sau đó dùng các phép gia công toán học hoặc dùng phương tiện để phục hồi lại hoàn toàn hiện tượng xảy ra.

1.4. Gia công kết quả đo lường

Gia công kết quả đo lường là dựa vào kết quả của những phép đo cụ thể ta xác định giá trị đúng của phép đo đó và sai số của phép đo ấy.

$$x = x_d \pm \Delta x = \bar{x} \pm \Delta x. \quad (1-10)$$

Dụng cụ đo nào cũng có sai số và nguyên nhân sai số rất khác nhau, vì vậy cách xác định sai số phải tùy theo từng trường hợp mà xác định. Hiện nay đã dùng nhiều phương pháp khác nhau để phép đo đảm bảo yêu cầu kỹ thuật đề ra.

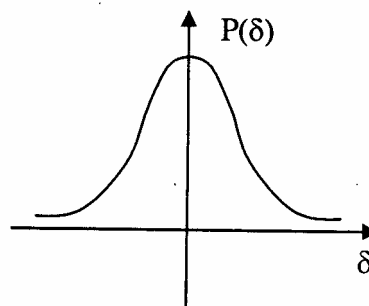
1.4.1. Tính toán sai số ngẫu nhiên

- Để xác định sai số ngẫu nhiên ta dựa vào phương pháp thống kê nhiều kết quả đo lường. Sai số ngẫu nhiên của lần đo thứ i được tính

$$\delta_i = x_i - M[x] \quad (1-11)$$

trong đó: x_i là kết quả lần đo thứ i ;

$M[x]$ là kỳ vọng toán học của vô số lần đo đại lượng x .



Hình 1.10. Luật phân bố chuẩn

- Theo toán học thống kê thì sự phân bố của sai số ngẫu nhiên xung quanh giá trị kỳ vọng toán học theo một quy luật nhất định gọi là luật phân bố xác suất.

Trong các thiết bị đo lường và điều khiển thường theo quy luật phân bố chuẩn:

$$P(\delta) = \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}} \cdot e^{-\frac{\delta^2}{2\sigma^2}} \quad (1-12)$$

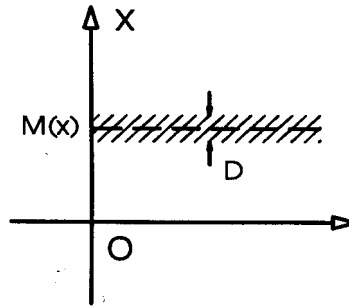
trong đó σ là độ lệch quân phương hay phương sai của sai số ngẫu nhiên.

Ta có công thức:

$$\sigma^2 = D = \int_{-\infty}^{\infty} \delta^2 P(\delta) d\delta \quad (1-13)$$

với D là độ tán xạ.

Trong kỹ thuật ta thường dùng khái niệm phương sai $\sigma = \sqrt{D}$ vì nó có cùng thứ nguyên với đại lượng cần đo.



Hình 1.11. Kỳ vọng và độ tán xạ của luật phân bố chuẩn

Quá trình gia công kết quả như sau:

a) Khi số lần đo là rất lớn ($n > 30$)

Sai số ngẫu nhiên được tính:

$$\Delta x = k \cdot \sigma \quad (1-14)$$

trong đó k là hệ số, được tra trong sổ tay kỹ thuật (bảng hoặc đường cong).

b) Khi số lần đo có hạn ($n \leq 30$)

Quá trình gia công được tiến hành như sau:

+ Kỳ vọng toán học được lấy là trung bình cộng của n lần đo

$$M[x] = \bar{x} = x_d = \frac{\sum_{k=1}^n x_i}{n}. \quad (1-15)$$

+ Phương sai của sai số ngẫu nhiên được tính theo công thức Bessel

$$\sigma = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2}{n-1}} = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n \delta_i^2}{n-1}} = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n \left(x_i - \frac{\sum_{i=1}^n x_i}{n}\right)^2}{n-1}}. \quad (1-16)$$

Nếu ta lấy kết quả là giá trị trung bình của n lần đo thì phương sai sẽ giảm đi \sqrt{n} lần

$$\sigma_x = \frac{\sigma}{\sqrt{n}} = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2}{n(n-1)}}. \quad (1-17)$$

+ Sai số ngẫu nhiên được tính:

$$\Delta x = k_{st} \cdot \sigma_x$$

trong đó k_{st} là hệ số Student, nó phụ thuộc vào số lần thu thập n và xác suất yêu cầu p. Hệ số k_{st} được tra trong các sổ tay kỹ thuật: $k_{st} = f(n, p)$.

+ Kết quả đo được tính:

$$x = \bar{x} \pm \Delta x = \frac{\sum x_i}{n} \pm k_{st} \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n \left(x_i - \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n x_i\right)^2}{n(n-1)}} \quad (1-18)$$

Chú ý: Trong thực tế có những lần thu thập số liệu cho kết quả không đáng tin cậy (và ta thường gọi là nhiễu của tập số liệu), ta phải loại bỏ lần đo này nhờ thuật toán sau:

Sau khi tính σ ta so sánh các $|\delta_i|$ với 3σ với $i = 1$ đến n, nếu lần đo nào có $|\delta_i| \geq 3\sigma$ thì phải loại bỏ lần đo đó và tính lại từ đầu với (n - 1) phép đo còn lại. Có thể chứng minh rằng việc loại bỏ đó đã đảm bảo độ tin cậy 99,7%.

Ví dụ 1.3: Tính kết quả đo và sai số ngẫu nhiên với một xác suất

đáng tin $p = 0,98$ của một phép đo điện trở bằng cầu kép với kết quả như sau (đơn vị tính = $m\Omega$):

140,25; 140,5; 141,75; 139,25; 139,5; 140,25; 140; 126,75; 141,15; 142,25; 140,75; 144,15; 140,15; 142,75. Biết sai số ngẫu nhiên có phân bố chuẩn.

Bài làm:

$$\text{Sau khi tính } \bar{R} = M[R] = \sum_{i=1}^n \frac{R_i}{14} = 139,96 \text{ (m}\Omega\text{)}.$$

$$\text{Tiếp theo tính } \sigma = \sqrt{\sum_{i=1}^n \frac{(R_i - \bar{R})^2}{n-1}} = 4,03 \text{ (m}\Omega\text{)}.$$

So sánh các $\delta_i = R_i - \bar{R}$ với 3σ . Ta thấy lần đo thứ 8 phạm phải sai lầm lớn ($\delta_8 = R_8 - \bar{R} \geq 3\sigma$) nên ta bỏ qua lần đo này và tính lại từ đầu với 13 lần đo còn lại. Ta lập bảng sau:

Bảng 1.1. Ví dụ về tính toán sai số ngẫu nhiên

STT	R_i	δ_i	δ_i^2
1	140,25	-0,73	0,5329
2	140,5	-0,48	0,2304
3	141,75	0,77	0,5929
4	139,25	-1,73	2,9929
5	139,5	1,48	2,1904
6	140,25	-0,73	0,5329
7	140	-0,98	0,9624
8	141,15	0,17	0,0289
9	142,25	1,27	1,6129
10	140,75	-0,23	0,0529
11	144,15	3,71	13,7641
12	140,15	-0,83	0,6889
13	142,75	1,77	3,1329
		Tổng: 0	Tổng: 23,64

$$\text{Tính lại: } M[R] = \bar{R} = \frac{\sum_{i=1}^{13} R_i}{13} = 140,98$$

$$\sum_{i=1}^{13} \delta_i^2 = 23,64$$

$$\sigma = \sqrt{\frac{\sum (R_i - \bar{R})^2}{13-1}} = \sqrt{\frac{\sum \delta_i^2}{13-1}} \approx 1,4 \text{ (m}\Omega\text{)}$$

$$\sigma_{\bar{R}} = \frac{\sigma}{\sqrt{13}} \approx 0,38 \text{ (m}\Omega\text{)}$$

$$\text{Với } P = 0,98; n = 13; \text{ chọn } k_{st} = \frac{2,72 + 2,65}{2} = 2,685$$

$$\Delta R = k_{st} \cdot \sigma_{\bar{R}} \approx 1,04 \text{ (m}\Omega\text{)}.$$

Kết quả

$$R = \bar{R} \pm \Delta R = 140,98 \pm 1,04 \text{ (m}\Omega\text{)}.$$

1.4.2. Tính toán sai số gián tiếp

Trong thực tế có nhiều phương pháp đo mà kết quả được tính từ phép đo trực tiếp khác người ta gọi phép đo đó là phép đo gián tiếp.

Giả sử có một phép đo gián tiếp đại lượng y thông qua các phép đo trực tiếp x_1, x_2, \dots, x_n : $y = f(x_1, x_2, \dots, x_n)$

Ta có:

$$dy = \frac{\partial y}{\partial x_1} dx_1 + \frac{\partial y}{\partial x_2} dx_2 + \dots + \frac{\partial y}{\partial x_n} dx_n. \quad (1-19)$$

Sai số tuyệt đối của phép đo gián tiếp được đánh giá

$$\Delta y = \sqrt{\left(\frac{\partial y}{\partial x_1} \Delta x_1\right)^2 + \left(\frac{\partial y}{\partial x_2} \Delta x_2\right)^2 + \dots + \left(\frac{\partial y}{\partial x_n} \Delta x_n\right)^2} = \sqrt{\sum_{k=1}^n \left(\frac{\partial y}{\partial x_k} \Delta x_k\right)^2} \quad (1-20)$$

$\Delta x_1, \Delta x_2, \dots, \Delta x_n$: sai số tuyệt đối của phép đo các đại lượng trực tiếp x_1, x_2, \dots, x_n

Sai số tương đối của phép đo gián tiếp được tính là:

$$\gamma_y = \frac{\Delta y}{y} = \sqrt{\left(\frac{\Delta x_1}{y}\right)^2 \left(\frac{\partial y}{\partial x_1}\right)^2 + \dots + \left(\frac{\Delta x_n}{y}\right)^2 \left(\frac{\partial y}{\partial x_n}\right)^2} = \sqrt{\gamma_{x_1}^2 + \gamma_{x_2}^2 + \dots + \gamma_{x_n}^2}$$

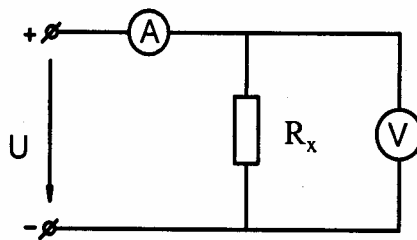
trong đó: $\gamma_{x_1}, \gamma_{x_2}, \dots, \gamma_{x_n}$ là sai số tương đối của các phép đo trực tiếp x_1, x_2, \dots, x_n .

Bảng 1.2. Bảng tính sai số tuyệt đối và sai số tương đối của một số hàm y thường gặp

Hàm y	Sai số tuyệt đối Δy	Sai số tương đối $\gamma_y = \Delta y / y$
$x_1 + x_2$	$\pm \sqrt{(\Delta x_1)^2 + (\Delta x_2)^2}$	$\pm \sqrt{\frac{(\Delta x_1)^2 + (\Delta x_2)^2}{(x_1 + x_2)^2}}$
$x_1 \cdot x_2$	$\pm \sqrt{x_1^2 (\Delta x_2)^2 + x_2^2 (\Delta x_1)^2}$	$\pm \sqrt{\left(\frac{\Delta x_1}{x_1}\right)^2 + \left(\frac{\Delta x_2}{x_2}\right)^2}$
$\frac{x_1}{x_2}$	$\pm \sqrt{\frac{x_1^2 (\Delta x_2)^2 + x_2^2 (\Delta x_1)^2}{x_2^4}}$	$\pm \sqrt{\left(\frac{\Delta x_1}{x_1}\right)^2 + \left(\frac{\Delta x_2}{x_2}\right)^2}$
x^n	$\pm n x^{n-1} \Delta x$	$\pm n \left(\frac{\Delta x}{x}\right)$

Ví dụ 1.4: Người ta sử dụng ampeomet và volmet để đo điện trở bằng phương pháp gián tiếp. Ampeomet có thang đo là 1A, cấp chính xác là 1. Volmet có thang đo là 150V, cấp chính xác 1,5. Khi đo ta được số chỉ của hai đồng hồ là: $I = 1A, U = 100V$.

Hãy tính sai số tuyệt đối và tương đối của phép đo điện trở trên.



Hình 1.12. Ví dụ về tính toán sai số gián tiếp

Bài làm:

+ Sai số tuyệt đối của ampeomet là:

$$\Delta I = D_I \gamma\% = 1. 1/100 = 0,01(\text{A}).$$

+ Sai số tuyệt đối của volmet là:

$$\Delta U = D_U \gamma\% = 150.1,5/100 = 2,25(\text{V}).$$

+ Giá trị điện trở theo phép đo là:

$$R = U/I = 100/1 = 100(\Omega).$$

+ Sai số tuyệt đối của phép đo điện trở là:

$$\Delta R = \pm \sqrt{\frac{I^2 \Delta U^2 + U^2 \Delta I^2}{I^4}} = \pm \sqrt{\frac{1 \times 2,25^2 + 100^2 \times 0,01^2}{1}} = 2,46\Omega$$

+ Sai số tương đối của phép đo điện trở

$$\begin{aligned} \gamma &= \pm \frac{\Delta R}{R} 100 = \pm \sqrt{\left(\frac{\Delta U}{U}\right)^2 + \left(\frac{\Delta I}{I}\right)^2} \times 100 \\ &= \pm \sqrt{\left(\frac{2,25}{100}\right)^2 + \left(\frac{0,01}{1}\right)^2} \times 100 \\ &= \pm 0,024 \times 100 = 2,4\%. \end{aligned}$$

Chương 2

CÁC CƠ CẤU CHỈ THỊ

2.1. Cơ cấu chỉ thị cơ điện

2.1.1. Cơ sở chung

2.1.1.1. Khái niệm

Cơ cấu chỉ thị là dụng cụ đo mà số chỉ của nó là đại lượng tỉ lệ với đại lượng đo liên tục. Chỉ thị cơ điện là cơ cấu chỉ thị có tín hiệu vào là dòng điện và tín hiệu ra là góc quay của kim chỉ thị. Đại lượng cần đo sẽ trực tiếp biến đổi thành góc quay của kim chỉ thị, tức là thực hiện việc chuyển đổi năng lượng điện từ thành năng lượng cơ học làm quay kiến chỉ thị đi một góc α : $\alpha = f(x)$, x là đại lượng vào.

Cơ cấu chỉ thị cơ điện bao gồm hai phần: phần tĩnh và phần quay. Tùy theo phương pháp biến đổi năng lượng điện từ người ta chia thành cơ cấu chỉ thị kiểu từ điện, điện từ, điện động, cảm ứng và tĩnh điện.

2.1.1.2. Các chi tiết cơ khí chung của chỉ thị cơ điện

a) Trục và trụ

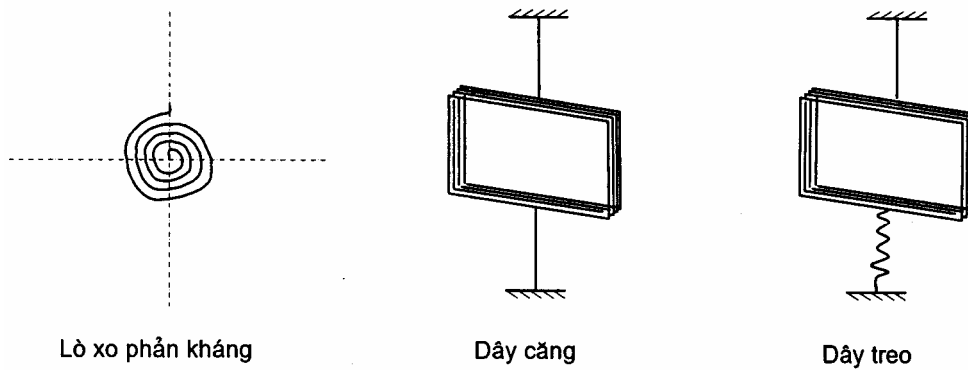
Trục và trụ là bộ phận quan trọng trong các chi tiết cơ khí của các cơ cấu chỉ thị cơ điện, đảm bảo cho phần động quay trên trục có gắn các chi tiết của phần động như kim chỉ thị, lò so phản, khung dây.

b) Bộ phận phản kháng

Bộ phận phản kháng bao gồm lò so phản kháng hoặc dây căng hoặc dây treo. Mục đích để tạo ra mômen phản kháng.

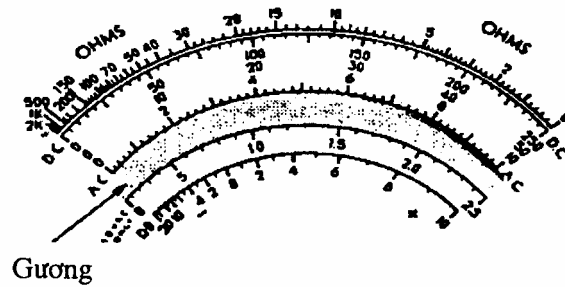
c) Kim chỉ thị góc quay α

Kim chỉ thị góc quay α được gắn với trục quay. Độ di chuyển của kim trên thang chia độ tỉ lệ với góc quay α . Ngoài ra có thể chỉ thị góc quay bằng ánh sáng.



Hình 2.1a. Một số cơ cấu phản kháng

d) Thang chia độ



Hình 2.1b. Thang chia độ

Thang chia độ là mặt khắc độ thang đo, để xác định giá trị đo

e) Bộ phận cản dộ

Bộ phận cản dộ có tác dụng rút ngắn quá trình dao động của phần động, xác lập vị trí nhanh chóng trong cơ cấu chỉ thị. Thông thường có hai loại cản dộ được sử dụng, đó là cản dộ kiểu không khí và cản dộ kiểu cảm ứng.



a) Cơ cấu cản dộ kiểu không khí

b) Cơ cấu cản dộ kiểu cảm ứng

Hình 2.2. Một số cơ cấu cản dộ thường gặp

2.1.2. Phương trình đặc tính của cơ cấu cơ điện

2.1.2.1. Các mômen tác động lên phần cơ cấu

a) Mômen quay

Khi có dòng điện chạy trong cơ cấu chỉ thị, thì trong nó sẽ tích lũy một năng lượng điện từ, năng lượng này được biến thành cơ năng làm quay phần động đi một góc nào đó, có nghĩa là thực hiện một công cơ học:

$$dA = M_q d\alpha$$

trong đó: dA là lượng vi phân của công cơ học;

M_q là mômen quay;

$d\alpha$ là lượng vi phân của góc quay.

Theo định luật bảo toàn năng lượng:

$$dW_e = dA$$

dW_e là lượng vi phân của năng lượng điện từ

$$\text{Vậy } M_q = \frac{dW_e}{d\alpha}$$

b) Mômen phản

Dưới tác dụng của mômen quay, nếu không có gì cản lại thì phần động của cơ cấu sẽ quay đi một góc lớn nhất có thể có được. Vì vậy người ta tạo ra các mômen phản tỷ lệ với góc quay α nhờ các bộ phận phản kháng là lò xo xoắn, dây căng hoặc dây treo.

$$\text{Ta có: } M_p = D\alpha;$$

với D là hệ số phụ thuộc vào kích thước vật liệu chế tạo lò xo, dây căng hoặc dây treo.

Khi mômen quay cân bằng với mômen phản thì phần động đứng yên

$$M_q = M_p = D\alpha.$$

c) Mômen ma sát

Đối với các dụng cụ dùng trục quay ta phải xét đến ảnh hưởng của lực ma sát giữa trục và ổ, mômen ma sát được tính theo công thức kinh nghiệm

$$M_{ms} = K.G^n$$

trong đó K là hệ số tỷ lệ, G là trọng lượng phần động, $n = (1,3 \div 1,5)$

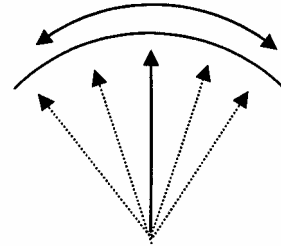
d) Mômen cản dọi

Khi trục quay dẫn đến kim chỉ thị quay theo cho tới vị trí cân bằng rồi mới dừng lại, do phần động có quán tính và lò so bị kéo nên kim sẽ dao động rồi mới đứng yên cho nên phải có bộ phận ổn định dao động kim hay bộ phận cản dọi.

Mômen cản dọi được chế tạo sao cho có trị số tỷ lệ với tốc độ quay của phần động

$$M_{cd} = p \frac{d\alpha}{dt}$$

với p là hệ số tỷ lệ phụ thuộc vào đặc điểm cấu tạo của bộ phận cản dọi. Từ biểu thức trên ta thấy khi phần động ở vị trí cân bằng thì $\frac{d\alpha}{dt} = 0$, như vậy mômen cản dọi không



Hình 2.3. Sự dao động của kim

làm ảnh hưởng đến kết quả đo.

2.1.2.2. Phương trình cân bằng phần động của cơ cấu đo

Theo định luật cơ học đối với một chuyển động quay, đạo hàm bậc nhất của mômen động lượng theo thời gian bằng tổng các mômen tác động lên vật quay ấy.

$$\frac{d}{dt} \left(J \frac{d\alpha}{dt} \right) = \sum M_i \Rightarrow J \frac{d^2\alpha}{dt^2} = \sum M_i$$

trong đó: J là mômen quán tính phần động;

$\sum M_i$ là tổng các mômen tác động lên phần động của cơ cấu, bao gồm:

$$M_q = \frac{dW_{dt}}{d\alpha}; M_{ms} = K.G^n; M_{cd} = p \frac{d\alpha}{dt}; M_p = D\alpha.$$

Thay các đại lượng trên vào phương trình, ta có:

$$J \frac{d^2\alpha}{dt^2} = M_q - M_p - M_{ms} \pm M_{cd}$$

$$\Rightarrow J \frac{d^2\alpha}{dt^2} \pm p \frac{d\alpha}{dt} + M_p + M_{ms} = M_q$$

Phương trình này chính là phương trình mômen chuyển động của cơ cấu Giải phương trình này ta tìm được $\alpha(t)$. Tùy theo quan hệ giữa J, P, D mà cơ cấu dao động hay không dao động và quyết định tính ổn định và thời gian đo của cơ cấu.

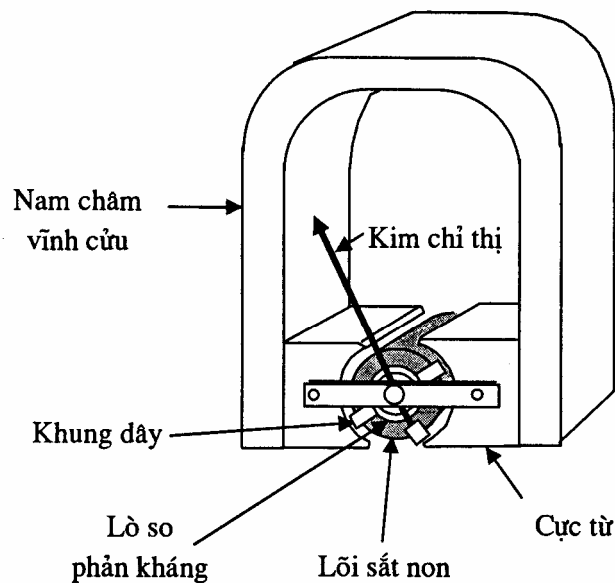
2.1.3. Cơ cấu đo từ điện

2.1.3.1. Loại có một khung dây động

1. Cấu tạo

Phần tĩnh gồm: nam châm vĩnh cửu, cực từ, lõi sắt non, trong đó khe hở không khí giữa cực từ và lõi sắt là đều nhau.

Phần động gồm: khung dây, lò so phản kháng, kiến chỉ thị.



Hình 2.4. Cơ cấu chỉ thị từ điện

2. Nguyên lý làm việc

- Khi ta cho dòng điện một chiều I chạy vào khung dây, dưới tác dụng của từ trường nam châm vĩnh cửu trong khe hở không khí, các cạnh

của khung dây sẽ chịu tác dụng một lực:

$$F = B/lI$$

trong đó: B là trị số cảm ứng từ trong khe hở không khí; l là chiều dài tác dụng của khung dây; W là số vòng dây; I là trị số dòng điện.

Ta thấy hai cạnh của khung dây cùng chịu tác dụng của lực F nhưng ngược chiều nhau nên sẽ tạo ra mômen quay:

$$M_q = 2F \frac{d}{2} = B.l.d.W.I = B.S.W.I$$

trong đó: d là kích thước ngang của khung dây;

S = dl là thiết diện bề mặt khung dây.

Mômen phản của lò so: $M_p = D.\alpha$.

Vậy phần động sẽ cân bằng khi:

$$M_q = M_p \Leftrightarrow B.S.W.I = D\alpha \Leftrightarrow \alpha = \frac{B.S.W}{D}I = S_1.I.$$

Ở đây $S_1 = \frac{B.S.W}{D} = \text{const}$ là độ nhạy của cơ cấu theo dòng điện.

Ta thấy α tỷ lệ bậc nhất với I.

3. Đặc điểm và ứng dụng

Đặc điểm:

- Ưu điểm:

+ Dụng cụ có độ nhạy cao và không đổi trong toàn thang đo;

+ Độ chính xác cao, ít chịu ảnh hưởng của từ trường ngoài, tiêu thụ năng lượng ít;

+ Vì α tỷ lệ bậc nhất với I nên thang chia độ của cơ cấu đều.

- Nhược điểm:

+ Chế tạo khó khăn, giá thành đắt;

+ Do khung dây ở phần động nên phải quấn bằng dây có kích thước nhỏ nên khả năng quá tải kém;

+ Chỉ đo được dòng một chiều. Thật vậy, khi ta cho dòng xoay chiều $i = I_m \sin \omega t$ vào khung dây, ta có mômen quay tức thời theo thời gian:

$$m_q(t) = B.S.W.i$$

$$M_{qTB} = \frac{1}{T} \int_0^T m_q(t) dt = B.S.W.I_m \frac{1}{T} \int_0^T \sin \omega t dt = 0.$$

Vậy muốn đo các đại lượng xoay chiều ta phải kết hợp với bộ chỉnh lưu.

Ứng dụng:

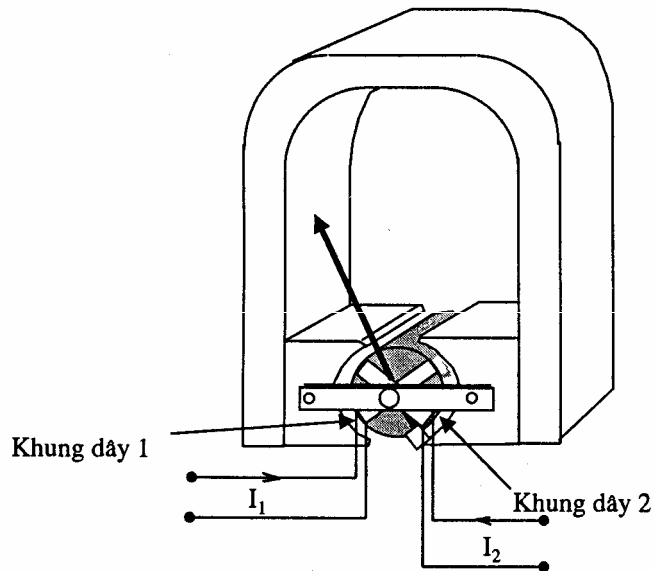
Dùng chế tạo ampemet, volmet, ommet, điện kế có độ nhạy cao, dùng làm cơ cấu chỉ không trong các đồng hồ vạn năng, trong các cầu đo...

2.1.3.2. Loại có hai khung dây động (Logomet từ điện)

1. Cấu tạo

Phần tĩnh giống như cơ cấu một khung dây nhưng khe hở không khí giữa cực từ và lõi sắt non là không đều nhau.

- Phần động ta đặt hai cuộn dây chéo nhau 60° , gắn cứng trên trục quay và lần lượt cho dòng điện I_1 và I_2 chạy qua sao cho chúng sinh ra hai mômen quay ngược chiều nhau. Phần động không có lò so phản.



Hình 2.5. Logomet từ điện

2. Nguyên lý làm việc

Khi ta cho các dòng một chiều I_1, I_2 chạy vào các cuộn dây động, dưới tác dụng của từ trường nam châm vĩnh cửu sẽ tạo ra các mômen quay M_1, M_2 với:

$$M_1 = B_1 \cdot S_1 \cdot W_1 \cdot I_1$$

$$M_2 = B_2 \cdot S_2 \cdot W_2 \cdot I_2$$

Vì khe hở không khí là không đều nên cảm ứng từ B phụ thuộc vị trí của khung dây động.

$$B_1 = f_1(\alpha) \rightarrow M_1 = f_1(\alpha) \cdot S_1 \cdot W_1 \cdot I_1;$$

$$B_2 = f_2(\alpha) \rightarrow M_2 = f_2(\alpha) \cdot S_2 \cdot W_2 \cdot I_2.$$

Vì không có lò so phản nên phần động sẽ cân bằng khi $M_1 = M_2$. Ta có:

$$f_1(\alpha) \cdot S_1 \cdot W_1 \cdot I_1 = f_2(\alpha) \cdot S_2 \cdot W_2 \cdot I_2.$$

Vậy

$$\frac{f_1(\alpha) \cdot S_1 \cdot W_1}{f_2(\alpha) \cdot S_2 \cdot W_2} = \frac{I_2}{I_1}$$

Giải phương trình này ta tìm được quan hệ: $\alpha = f\left(\frac{I_1}{I_2}\right)$

3. Đặc điểm và ứng dụng

Đặc điểm:

Tương tự như cơ cấu một khung dây ở trên không có độ chính xác cao hơn, công suất tổn thất thấp, độ nhạy rất cao, ít bị ảnh hưởng của từ trường ngoài. Góc lệch α tỷ lệ với tỷ số hai dòng điện đi qua các khung dây, điều này thuận lợi khi đo các đại lượng vật lý thụ động phải cho thêm nguồn ngoài. Nếu nguồn cung cấp thay đổi nhưng tỷ số hai dòng điện vẫn được giữ nguyên do vậy mà tránh được sai số.

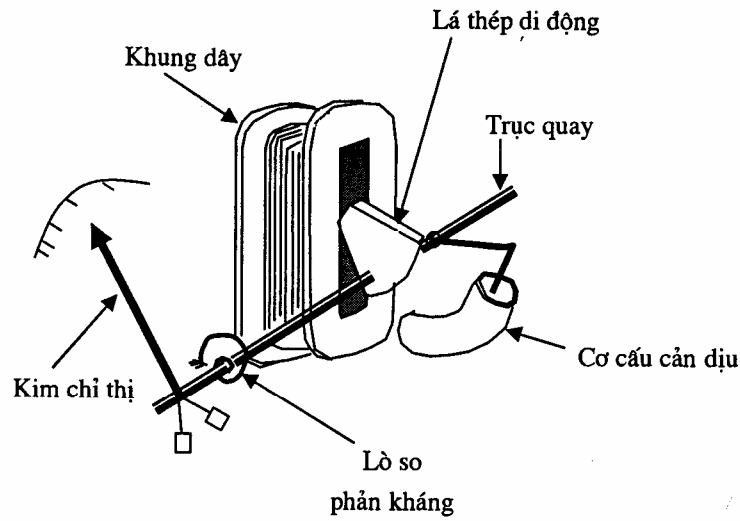
Ứng dụng:

Được dùng chế tạo các ommet, megommet.

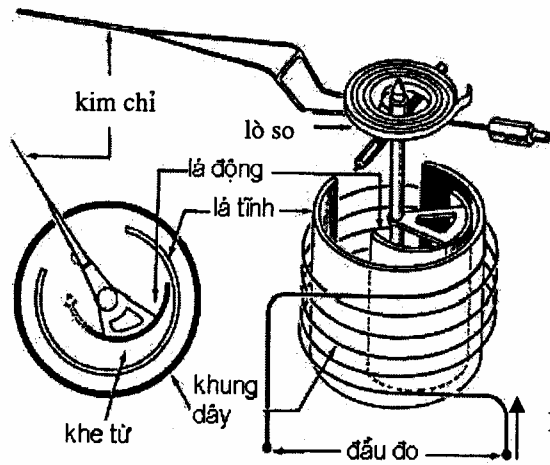
2.1.4. Cơ cấu đo điện từ

2.1.4.1. Cấu tạo

Cơ cấu gồm hai loại chính: kiểu cuộn dây dẹt (cơ cấu chỉ thị điện từ loại hút) và kiểu cuộn dây tròn (cơ cấu chỉ thị điện từ loại đẩy). Cơ cấu cuộn dây dẹt có phần tĩnh là cuộn dây dẹt cho dòng điện cần đo đi qua, còn phần động là một lá thép đặt lệch tâm có thể quay trong khe hở cuộn dây tĩnh. Kiểu cuộn dây tròn có phần tĩnh là cuộn dây tròn bên trong gắn một lá thép. Phần động cũng là một lá thép gắn trên trục. Ngoài ra còn có bộ phận cản dọi, lò xo phản, kim chỉ thị



a) Cơ cấu điện từ loại hút



b) Cơ cấu điện từ loại đẩy

Hình 2.6. Cơ cấu chỉ thị điện từ

2.1.4.2. Nguyên lý làm việc

Khi có dòng điện chạy vào cuộn dây tĩnh, trong lòng cuộn dây sẽ có một từ trường. Đối với cuộn dây dẹt từ trường này hút lá thép vào trong lòng cuộn dây tĩnh, còn đối với cuộn dây tròn thì từ trường sẽ từ hoá hai lá thép, khi đó hai lá thép có cùng cực tính nên đẩy nhau. Cả hai trường hợp trên sẽ làm cho phần động quay đi một góc α .

- Khi cho dòng điện một chiều chạy vào cuộn dây:

Ta có mômen quay:

$$M_q = \frac{dW_e}{d\alpha};$$

với W_e là năng lượng điện từ trường tích lũy ở cuộn dây

$$W_e = \frac{1}{2}LI^2$$

trong đó L phụ thuộc α .

Vậy mômen quay:

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

- Khi cho dòng điện xoay chiều vào cuộn dây:

Giả sử $i = I_{\max}\sin\omega t$. Lúc đó mômen quay M_q theo t sẽ là:

$$M_q(t) = \frac{1}{2} \frac{dL}{d\alpha} I_{\max}^2 \sin^2 \omega t.$$

Mômen quay trung bình:

$$M_{qtb} = \frac{1}{T} \int_0^T M_q(t) dt = \frac{1}{2} \frac{dL}{d\alpha} \frac{1}{T} \int_0^T I_{\max}^2 \sin^2(\omega t) dt$$

$$M_{qtb} = \frac{1}{2} \frac{dL}{d\alpha} I^2$$

với I là trị hiệu dụng của dòng hình sin.

Tại vị trí cân bằng $M_q = M_p$;

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

Vậy cơ cấu chỉ thị điện từ có thể đo được cả dòng một chiều và dòng xoay chiều.

2.1.4.3. Đặc điểm và ứng dụng

Đặc điểm:

- Ưu điểm:

- + Có cuộn dây ở phần tĩnh nên có thể quấn bằng dây kích thước lớn nên khả năng quá tải tốt.
- + Dễ chế tạo, giá thành hạ.
- + Có thể đo được cả đại lượng một chiều và xoay chiều.
- Nhược điểm:
 - + Góc quay tỷ lệ với bình phương của dòng điện và thang đo chia không đều (hình dáng lá thép được chế tạo sao cho $\frac{dL}{d\alpha}$ giảm theo góc quay α để thang chia độ có thể tương đối đều).
 - + Độ chính xác thấp do có tổn hao trong lõi thép.

Ứng dụng:

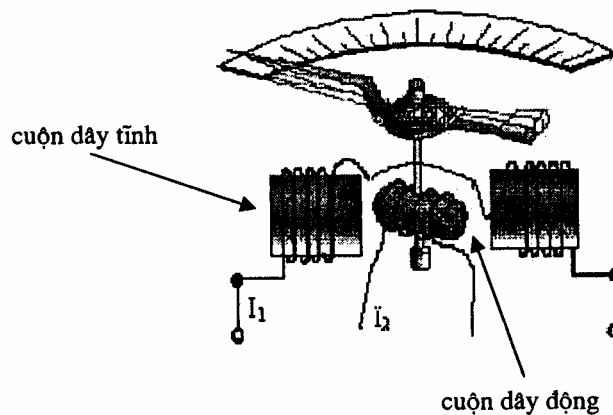
Chủ yếu đo dòng, áp xoay chiều tần số công nghiệp.

2.1.5. Cơ cấu đo điện động

2.1.5.1. Loại có một khung dây động

a) Cấu tạo

Cơ cấu gồm hai cuộn dây. Cuộn dây tĩnh có tiết diện lớn, ít vòng dây và thường chia làm hai phân đoạn. Phần động là một khung dây có nhiều vòng dây và tiết diện nhỏ. Ngoài ra còn có kim chỉ thị, bộ phận cản dọi, lò xo phản.



Hình 2.7. Cơ cấu chỉ thị điện động

b) Nguyên lý làm việc

- Xét khi cho các dòng điện một chiều I_1 và I_2 vào các cuộn dây phần tĩnh và động, trong lòng cuộn dây tĩnh sẽ tồn tại một từ trường. Từ trường này sẽ tác động lên dòng điện chạy trong cuộn dây động và tạo ra mômen quay:

$$M_q = \frac{dW_e}{d\alpha}.$$

Năng lượng từ trường tích lũy trong lòng cuộn dây là:

$$W_e = \frac{1}{2}L_1I_1^2 + \frac{1}{2}L_2I_2^2 + M_{12}I_1I_2$$

trong đó L_1, L_2 là điện cảm của các cuộn dây và chúng không phụ thuộc vào góc quay α ; M_{12} là hệ cảm của hai cuộn dây, thay đổi khi phần động quay. Mômen quay

$$M_q = \frac{dW_e}{d\alpha} = \frac{dM_{12}}{d\alpha} I_1I_2.$$

- Xét khi hai dòng điện đưa vào các cuộn dây là dòng điện xoay chiều thì:

$$M_q(t) = \frac{dM_{12}}{d\alpha} i_1 i_2.$$

Giả sử $i_1 = I_{1m} \sin \omega t$ và $i_2 = I_{2m} \sin(\omega t - \Psi)$.

Do phần động có quán tính mà không kịp thay đổi theo giá trị tức thời cho nên thực tế lấy theo giá trị trung bình trong một chu kỳ:

$$\begin{aligned} M_q &= \frac{1}{T} \int_0^T M_q(t) dt \\ &= \frac{1}{T} \int_0^T I_{1m} I_{2m} \sin \omega t \sin(\omega t - \Psi) \frac{dM_{12}}{d\alpha} dt \\ &= \frac{dM_{12}}{d\alpha} I_1 I_2 \cos \Psi \end{aligned}$$

Với Ψ là góc lệch pha giữa hai dòng điện; I_1, I_2 là các giá trị hiệu dụng của dòng điện lần lượt chạy trong các cuộn dây tĩnh và động.

Tóm lại, trong mọi trường hợp ta đều có:

$$M_q = \frac{dM_{12}}{d\alpha} I_1 I_2 \cos \psi = K \cdot I_1 \cdot I_2 \cdot \cos \psi$$

$$\text{Khi } M_q = M_p \Rightarrow \frac{dM_{12}}{d\alpha} I_1 I_2 \cos \psi = D\alpha.$$

$$\text{Vậy } \alpha = \frac{1}{D} \frac{dM_{12}}{d\alpha} I_1 I_2 \cos \psi = K_1 \cdot I_1 \cdot I_2 \cdot \cos \psi.$$

c) *Đặc điểm và ứng dụng*

Đặc điểm:

- Ưu điểm:

- + Độ chính xác cao vì không có tổn hao trong lõi thép.
- + Có thể đo được cả đại lượng một chiều và xoay chiều.

- Nhược điểm:

- + Dễ chịu ảnh hưởng của từ trường ngoài.
- + Khả năng quá tải kém vì khung dây phần động kích thước nhỏ.
- + Cấu tạo phức tạp, đắt tiền.
- + Thang chia độ không đều (trừ khi chế tạo wattmet).

Ứng dụng:

- + Chế tạo các đồng hồ đo dòng, áp xoay chiều có tần số cao hoặc yêu cầu độ chính xác cao.
- + Chủ yếu chế tạo đồng hồ đo công suất tác dụng và phản kháng.

2.1.5.2. Loại có hai khung dây động (logomet điện động)

a) *Cấu tạo*

Phần tĩnh gồm một cuộn dây được chia làm hai nửa. Trong lòng cuộn dây tĩnh có hai cuộn dây động gắn trên trục quay cùng với kim chỉ thị, không có lò so phản.

b) *Nguyên lý làm việc*

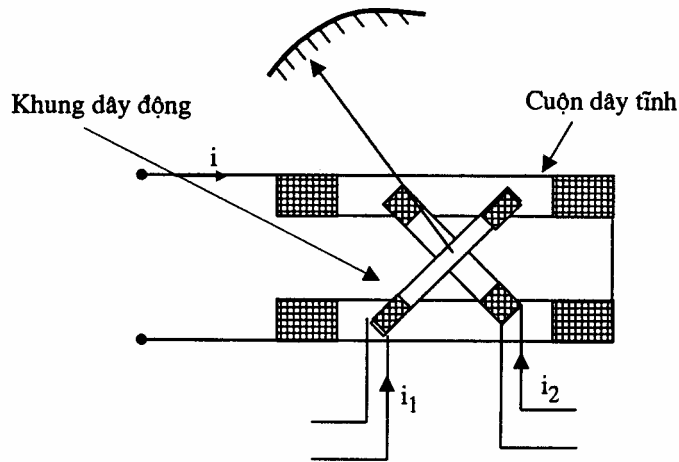
Khi cho hai dòng điện xoay chiều i , i_1 , i_2 lần lượt chạy vào cuộn dây tĩnh và các cuộn dây động, trong lòng cuộn dây tĩnh sẽ có một từ trường. Từ trường này sẽ tác động lên dòng điện chạy trong các cuộn dây động

sinh ra các mômen M_{q1}, M_{q2}

$$M_{q1} = \frac{dM_1}{d\alpha} I_1 I_1 \cos \left(\overset{*}{I}, \overset{*}{I}_1 \right)$$

$$M_{q2} = \frac{dM_2}{d\alpha} I_1 I_2 \cos \left(\overset{*}{I}, \overset{*}{I}_2 \right)$$

với M_1, M_2 là hệ số hỗ cảm giữa cuộn dây tĩnh và lần lượt các cuộn dây động.



Hình 2.8. Logomet điện động

Người ta bố trí sao cho các mômen này ngược chiều nhau, vậy khi cân bằng phần động, ta có $M_{q1} = M_{q2}$

$$\frac{dM_1}{d\alpha} I_1 I_1 \cos \left(\overset{*}{I}, \overset{*}{I}_1 \right) = \frac{dM_2}{d\alpha} I_1 I_2 \cos \left(\overset{*}{I}, \overset{*}{I}_2 \right)$$

$$\rightarrow \frac{\frac{dM_1}{d\alpha}}{\frac{dM_2}{d\alpha}} = \frac{I_2 \cos \left(\overset{*}{I}, \overset{*}{I}_2 \right)}{I_1 \cos \left(\overset{*}{I}, \overset{*}{I}_1 \right)}$$

Giải phương trình trên, ta được: $\alpha = f \left(\frac{I_2 \cos \beta_2}{I_1 \cos \beta_1} \right)$

với I_1, I_2 là các giá trị hiệu dụng của các dòng điện i_1, i_2 ; β_1, β_2 là góc lệch pha giữa dòng điện i, i_1 và i, i_2

c) *Đặc điểm và ứng dụng*

Giống như cơ cấu một khung dây động nhưng chủ yếu để chế tạo đồng hồ đo $\cos\phi$ 1 pha, 3 pha cho lưới điện xoay chiều.

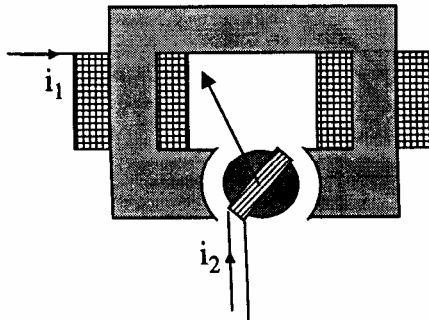
2.1.5.3. Cơ cấu sắt điện động và logomet sắt điện động

a) *Cơ cấu sắt điện động*

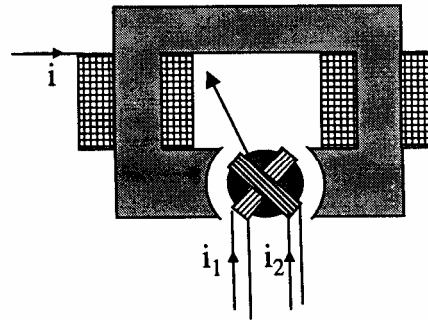
Gồm cuộn dây tĩnh, mạch từ nhằm tạo ra từ trường trong khe hở không khí. Khung dây động được gắn với trục quay cùng kim chỉ thị, lò xo phản và bộ phận cản dũa.

Góc quay được tính:

$$\alpha = K \cdot I_1 I_2 \cos(I_1, I_2).$$



Hình 2.9. Cơ cấu sắt điện động



Hình 2.10. Logomet sắt điện động

b) *Logomet sắt điện động*

Gồm mạch từ có cấu tạo sao cho tạo nên khe hở không khí không đều, phần động gồm hai khung dây đặt chéo nhau 60° và gắn trên trục quay cùng với kim chỉ thị. Góc quay được tính:

$$\alpha = f \left(\frac{I_2 \cos(I, I_2)}{I_1 \cos(I, I_1)} \right).$$

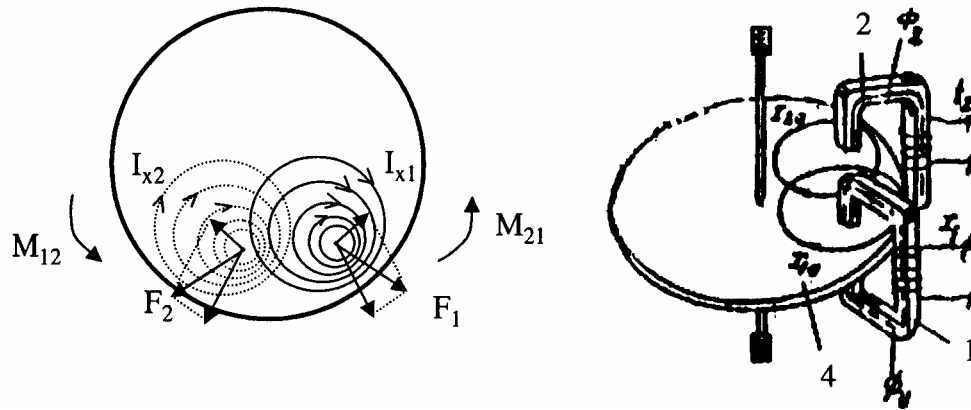
c) *Đặc điểm ứng dụng*

- Có thể đo dòng một chiều hoặc xoay chiều. Từ trường qua khung dây lớn nên ít chịu ảnh hưởng của từ trường ngoài.
- Tổn hao sắt từ lớn, độ chính xác không cao.
- Thường dùng để chế tạo các dụng cụ đo dòng, đo áp, công suất và góc lệch pha.

2.1.6. Cơ cấu đo cảm ứng

2.1.6.1. Cấu tạo

Cơ cấu cảm ứng được cấu tạo như hình 2.1 1.

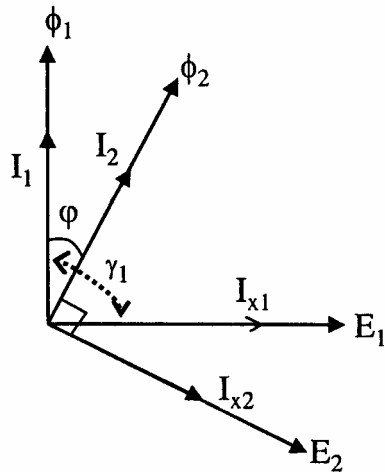


Hình 2.11. Cơ cấu chỉ thị cảm ứng

1. Cuộn dây 1 ; 2. Cuộn dây 2 ; 3. Cơ cấu cân địu ; 4. Đĩa nhôm và trục quay

2.1.6.2. Nguyên lý làm việc

Khi cho dòng điện i_1 vào cuộn dây 1 thì cuộn dây 1 tạo ra từ thông ϕ_1 xuyên qua đĩa nhôm, dòng điện i_2 vào trong cuộn dây 2 tạo ra từ thông ϕ_2 cũng xuyên qua đĩa nhôm.



Hình 2.12. Đồ thị vectơ

Từ thông ϕ_1 cảm ứng trên đĩa nhôm sức điện động e_1 chậm pha hơn ϕ_1 một góc $\pi/2$.

Từ thông ϕ_2 cảm ứng trên đĩa nhôm sức điện động e_2 chậm pha hơn ϕ_2 một góc $\pi/2$.

Vì đĩa nhôm được coi như rất nhiều vòng dây đặt sát nhau, cho nên E_1, E_2 sẽ tạo ra trên đĩa nhôm các dòng điện xoáy i_{x1} và i_{x2} chậm pha hơn so với e_1 và e_2 các góc α_1 và α_2 vì ngoài điện trở thuần còn có thành phần cảm ứng, tuy nhiên

do các thành phần cảm ứng đó rất nhỏ nên ta giả thiết các góc α_1 và

$\alpha_2 \approx 0$.

Do có sự tương hỗ giữa từ thông ϕ_1, ϕ_2 với các dòng điện i_{x1} và i_{x2} mà sinh ra các lực F_1 và F_2 và các mômen tương ứng làm quay đĩa nhôm. Ta xét các mômen thành phần như sau:

M_{11} là mômen sinh ra do ϕ_1 tác động lên i_{x1}

M_{12} là mômen sinh ra do ϕ_1 tác động lên i_{x2}

M_{21} là mômen sinh ra do ϕ_2 tác động lên i_{x1}

M_{22} là mômen sinh ra do ϕ_2 tác động lên i_{x2}

Giá trị tức thời của mômen quay M_{1t} do sự tác động tương hỗ giữa ϕ_1 và dòng tức thời i_{x1} là:

$$M_{1t} = C\phi_1 i_{x1}$$

với C là hệ số tỷ lệ.

$$\begin{aligned} \text{Giả sử: } \quad \phi_1 &= \phi_{1m} \sin \omega t \\ i_{x1} &= I_{x1m} \sin(\omega t - \gamma) \end{aligned}$$

với γ là góc lệch pha giữa ϕ_1 và i_{x1} , ta có:

$$M_{1t} = C\phi_{1m} I_{x1m} \sin \omega t \sin(\omega t - \gamma).$$

Vì phần động có quán tính cho nên ta có mômen là đại lượng trung bình trong một chu kỳ T :

$$\begin{aligned} M &= \frac{1}{T} \int_0^T M_{1t} dt = \frac{1}{T} \int_0^T C\phi_{1m} I_{x1m} \sin \omega t \sin(\omega t - \gamma) dt \\ &= C\phi_1 I_{x1} \cos \gamma. \end{aligned}$$

Ta xét lần lượt các mômen trên

$$M_{11} = C_{11}\phi_1 I_{x1} \cos(\phi_1, I_{x1}) = C_{11}\phi_1 I_{x1} \cos(\pi/2) = 0$$

$$M_{12} = C_{12}\phi_1 I_{x2} \cos(\phi_1, I_{x2}) = C_{12}\phi_1 I_{x2} \cos(\pi/2 + \varphi) = -C_{12}\phi_1 I_{x2} \sin \varphi$$

$$M_{21} = C_{21}\phi_2 I_{x1} \cos(\phi_2, I_{x1}) = C_{21}\phi_2 I_{x1} \cos(\pi/2 - \varphi) = C_{21}\phi_2 I_{x1} \sin \varphi$$

$$M_{22} = C_{22}\phi_2 I_{x2} \cos(\phi_2, I_{x2}) = C_{22}\phi_2 I_{x2} \cos(\pi/2) = 0.$$

Như vậy mômen quay sẽ là tổng các mômen thành phần:

$$M_q = M_{12} + M_{21}$$

M_{12} và M_{21} có dấu ngược nhau do vậy mômen tổng sẽ kéo đĩa nhôm về một phía duy nhất:

$$M_q = -M_{12} + M_{21} = C_{12}\phi_1 I_{x2} \sin\varphi + C_{21}\phi_2 I_{x1} \sin\varphi.$$

Nếu dòng điện tạo ra ϕ_1 và ϕ_2 là hình sin và đĩa nhôm là đồng nhất (chỉ có điện trở thuần) thì các dòng điện xoáy I_{x1} và I_{x2} sẽ tỷ lệ với tần số và từ thông sinh ra nó, tức là:

$$I_{x1} = C_3 f \phi_1, I_{x2} = C_4 f \phi_2.$$

Do vậy

$$\begin{aligned} M_q &= C_{12}\phi_1 C_4 f \phi_2 \sin\varphi + C_{21}\phi_2 C_3 f \phi_1 \sin\varphi \\ &= (C_{12}C_4 + C_{21}C_3) f \phi_1 \phi_2 \sin\varphi \\ &= C f \phi_1 \phi_2 \sin\varphi \end{aligned}$$

với $C = C_{12}C_4 + C_{21}C_3$ là hằng số của cơ cấu chỉ thị cảm ứng.

2.1.6.3. Đặc điểm và ứng dụng

Điều kiện để có mômen quay là phải có hai từ trường, mômen quay cực đại khi $\sin\varphi = 1$, có nghĩa là góc lệch pha giữa hai từ thông ϕ_1 và ϕ_2 là $\pi/2$.

Cơ cấu phụ thuộc tần số, độ chính xác thấp vì khi làm việc dòng điện xoáy trong đĩa nhôm gây tổn hao công suất.

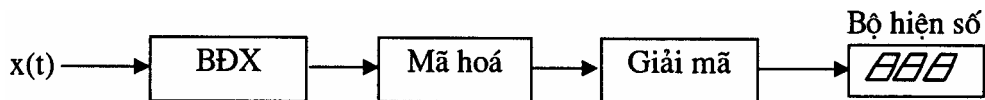
Cơ cấu được ứng dụng chủ yếu để chế tạo công tơ đo năng lượng tác dụng và phản kháng trong lưới điện xoay chiều.

2.2. Cơ cấu chỉ thị số

2.2.1. Khái niệm và nguyên lý cơ bản của cơ cấu chỉ thị số

Trong những năm gần đây xuất hiện và sử dụng rộng rãi các chỉ thị số, ưu việt của cơ cấu chỉ thị số là thuận lợi cho việc đọc ra kết quả, phù hợp với các quá trình đo lường xa, quá trình tự động hoá sản. xuất, thuận lợi cho những đối thoại giữa máy và người

Sơ đồ khối của cơ cấu chỉ thị số có thể tóm tắt như sau:



Hình 2.13. Sơ đồ khối của cơ cấu chỉ thị số

Đại lượng đo xin qua bộ biến đổi thành xung (BĐX), số xung N tỷ lệ với độ lớn $x(t)$ được đưa vào bộ mã hoá (MH), bộ giải mã (GM) và bộ hiện số. Các khâu mã hoá, giải mã, bộ hiện số tạo thành bộ chỉ thị số.

2.2.2. Chỉ thị số

Có nhiều loại chỉ thị số khác nhau nhưng phổ biến hiện nay vẫn dùng chỉ thị số đèn phóng điện nhiều cực và chỉ thị số ghép 7 thanh bằng một phát quang hoặc tinh thể lỏng.

2.2.2.1. Chỉ thị đèn phóng điện nhiều cực

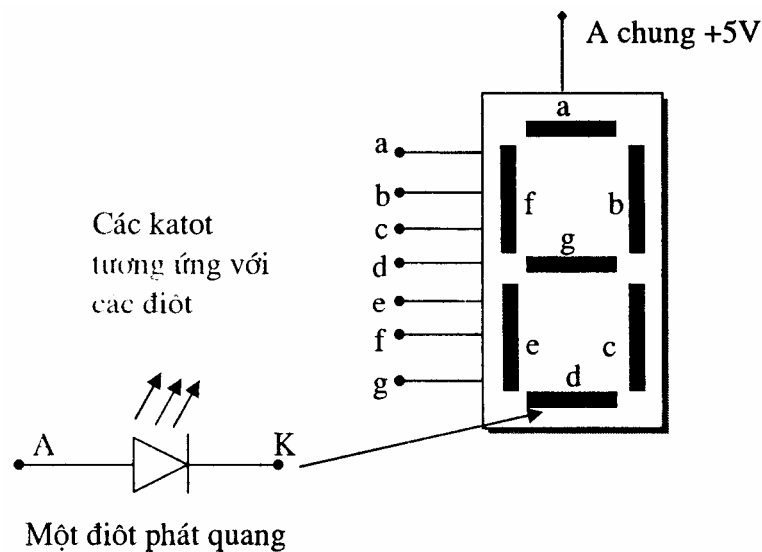
Chỉ thị là một đèn nê ông có một quật và 10 katot. Anot thường đặt ở điện áp 220V - 250V. Katot được chế tạo bằng dây Cr-Ni uốn thành hình các chữ số từ 0 - 9. Mỗi katot là một con số.

Khi có điện áp giữa quật và một katot nào đó đèn sẽ phóng điện, katot đó sẽ sáng lên và con số xuất hiện.

- Ưu điểm của chỉ thị này là hình dáng các con số đẹp.

- Nhược điểm: Kích thước cồng kềnh, nguồn điện áp cung cấp cao, chỉ phù hợp trong công nghiệp.

2.2.2.2. Chỉ thị số ghép 7 thanh



Hình 2.14. Sơ đồ nguyên lý của LED 7 thanh

Chỉ thị này được ghép bằng 7 thanh dùng một phát quang (LED: Light Emitting Diode) hoặc tinh thể lỏng (LCD: Liquid Crystal Display).

Điốt phát quang là những chất bán dẫn mà phát ra ánh sáng dưới tác dụng của dòng điện một chiều. Tinh thể lỏng là những màng mỏng làm bằng chất tinh thể lỏng. Đó là những chất dưới tác dụng của điện áp một chiều chuyển pha từ dạng lỏng sang dạng tinh thể và ngược lại. Khi ở dạng tinh thể thanh này trở nên trong suốt, ta có thể nhìn thấy màu sắc ở nền đằng sau. Một ưu điểm cơ bản tinh thể lỏng tiêu thụ dòng điện rất nhỏ: $0,1\mu\text{A}/\text{thanh}$, trong khi đó một phát quang cỡ: $10\text{mA}/\text{thanh}$.

Trong thực tế còn chỉ thị số 16 thanh, ma trận điểm...

2.2.3. Mã và các mạch biến đổi mã

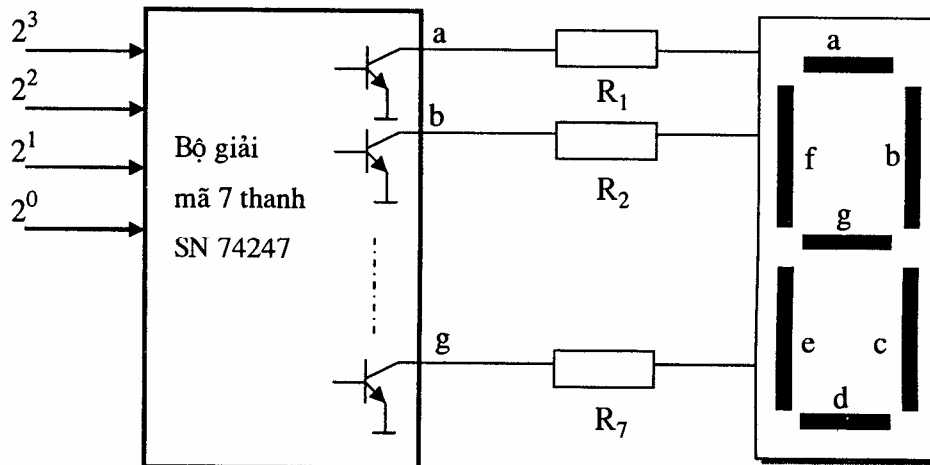
2.2.3.1. Mã

Mã số là những ký hiệu về một tập hợp số, từ tổ hợp của các ký hiệu ta có thể mô tả được các con số khác nhau. Có các loại mã số sau:

- Mã cơ số 10, đó là hệ đếm thập phân có 10 ký tự từ 0, 1, 2,..., 9.
- Mã cơ số 2 là loại mã có hai trạng thái được ký hiệu từ 0 và 1 (còn gọi là mã nhị phân).
- Mã 2 - 10 (còn gọi là mã BCD) là sự liên hệ giữa mã cơ số 2 và mã cơ số 10 để dễ quan sát và dễ đọc.

Đối với cơ cấu chỉ thị số thì hiện nay chủ yếu người ta sử dụng mã cơ số 2.

2.2.3.2. Các mạch biến đổi mã



Hình 2.15. Mạch giải mã từ mã nhị phân sang chỉ thị 7 thanh

Mạch biến đổi mã là thiết bị dùng để biến đổi từ mã cơ số 2 hoặc mã 2 - 10 thành mã cơ số 10, nghĩa là thể hiện dưới dạng số thập phân. Ngày nay các bộ giải mã được chế tạo dưới dạng vi mạch. Ví dụ như vi mạch SN74247 có các đầu ra hở cực góp dùng để điều khiển LED có chung anốt 5V. Các điện trở R_1, R_2, \dots, R_7 để hạn chế dòng.

Phần sau đây sẽ trình bày nguyên lý một số mạch biến đổi từ mã. Dựa vào nguyên lý của các mạch biến đổi mã này mà người ta chế tạo thành các vi mạch chuyên dụng.

a) Mạch biến đổi từ mã thập phân sang nhị phân

Tổng quát có m đầu vào tương ứng với m số thập phân từ 0, 1, 2... m-1 và n đầu ra tương ứng với n bit của mã số nhị phân. Người ta thường tổng hợp bộ biến đổi mã với số đầu vào $m = 10$ tức là gồm x_0, x_1, \dots, x_9 ứng với các số thập phân từ 0, 1, 2, ... 9. Như vậy bộ biến đổi mã sẽ có bốn đầu ra tương ứng y_8, y_4, y_2, y_1 ứng với bốn bit của mã nhị phân có trọng số 8, 4, 2, 1. Ta có bảng trạng thái như sau:

Bảng 2.1. Bảng trạng thái biến đổi từ số thập phân sang nhị phân

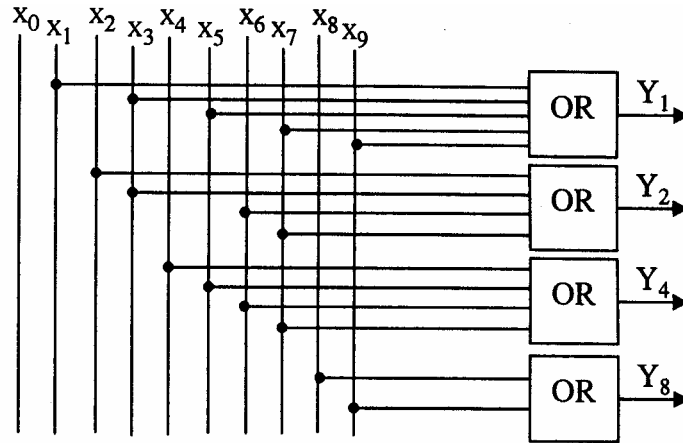
Số thập phân	Mã nhị phân			
	Y_8	Y_4	Y_2	Y_1
$X_0 (0)$	0	0	0	0
$X_1 (1)$	0	0	0	1
$X_2 (2)$	0	0	1	0
$X_3 (3)$	0	0	1	1
$X_4 (4)$	0	1	0	0
$X_5 (5)$	0	1	0	1
$X_6 (6)$	0	1	1	0
$X_7 (7)$	0	1	1	1
$X_8 (8)$	1	0	0	0
$X_9 (9)$	1	0	0	1

Từ bảng trạng thái ta có:

$$Y_1 = X_1 + X_3 + X_5 + X_7 + X_9; \quad Y_2 = X_2 + X_3 + X_6 + X_7;$$

$$Y_4 = X_4 + X_5 + X_6 + X_7; \quad Y_8 = X_8 + X_9.$$

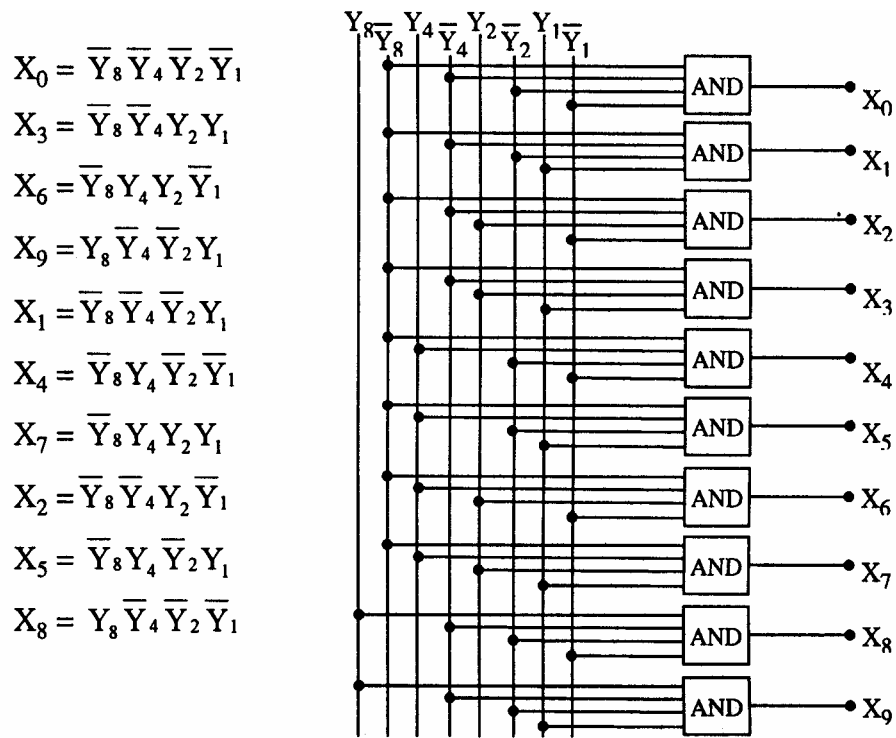
Vậy ta có thể thành lập mạch biến đổi mã từ thập phân sang nhị phân như sau:



Hình 2.16. Mạch tuần đổi mã từ thập phân sang nhị phân

b) Mạch biến đổi mã từ nhị phân sang thập phân

Nhiệm vụ của mạch này ngược với mạch trên. Với bảng trạng thái 2.1 ta có $X_0 \div X_9$ là các biến phụ thuộc còn $Y_1 \div Y_8$ là các biến độc lập. Vì vậy ta có các phương trình logic và sơ đồ mạch logic tương ứng:



Hình 2.17. Mạch biến đổi từ mã nhị phân sang thập phân

c) Mạch biến đổi từ số thập phân sang chỉ thị 7 thanh

Đầu vào là các số tự nhiên từ 0 ÷ 9, đầu ra là trạng thái các thanh sáng của chỉ thị 7 thanh bằng một phát quang hoặc tinh thể lỏng. Xuất phát từ thực tế ta có bảng trạng thái như sau:

Bảng 2.2. Bảng trạng thái biến đổi từ số nhị phân sang thập phân

Số thập phân	Trạng thái các phần tử						
	Y ₁	Y ₂	Y ₃	Y ₄	Y ₅	Y ₆	Y ₇
X ₀ (0)	1	1	1	1	1	1	0
X ₁ (1)	0	1	1	0	0	0	0
X ₂ (2)	1	1	0	1	1	0	1
X ₃ (3)	1	1	1	1	0	0	1
X ₄ (4)	0	1	1	0	0	1	1
X ₅ (5)	1	0	1	1	0	1	1
X ₆ (6)	1	0	1	1	1	1	1

X_7 (7)	1	1	1	0	0	0	0
X_8 (8)	1	1	1	1	1	1	1
X_9 (9)	1	1	1	1	0	1	1

Từ bảng trạng thái ta có thể viết được phương trình như sau (với số thứ tự các thanh như phần trước)

$$Y_1 = X_0 + X_2 + X_3 + X_5 + X_6 + X_7 + X_8 + X_9$$

$$Y_2 = X_0 + X_1 + X_2 + X_3 + X_4 + X_7 + X_8 + X_9$$

$$Y_3 = X_0 + X_1 + X_3 + X_4 + X_5 + X_6 + X_7 + X_8 + X_9$$

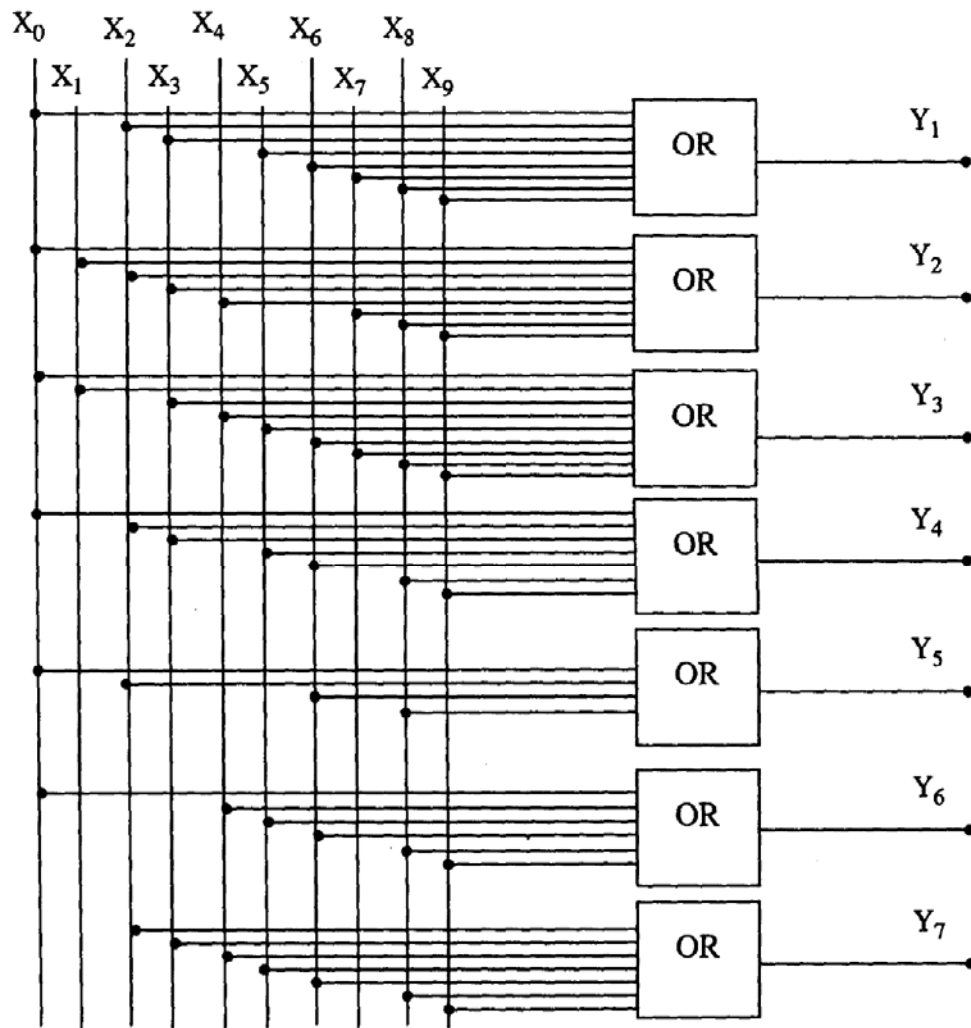
$$Y_4 = X_0 + X_2 + X_3 + X_5 + X_6 + X_8 + X_9$$

$$Y_5 = X_0 + X_2 + X_6 + X_8$$

$$Y_6 = X_0 + X_4 + X_5 + X_6 + X_8 + X_9$$

$$Y_7 = X_2 + X_3 + X_4 + X_5 + X_6 + X_8 + X_9$$

Từ đây ta có thể thiết lập mạch logic sau:



Hình 2.18. Mạch biến đổi từ mã thập phân sang chỉ thị 7 thanh

d) Mạch biến đổi mã từ mã nhị phân sang chỉ thị 7 thanh

Đầu vào là mã số nhị phân (8 4 2 1) ta gán các tên biến là X_8, X_4, X_2, X_1 . Đầu ra là trạng thái các thanh sáng của chỉ thị 7 thanh. Ta có bảng trạng thái sau:

Bảng 2.3. Bảng trạng thái biến đổi từ số nhị phân sang chỉ thị 7 thanh

Số thập phân	Số nhị phân				Trạng thái các thanh sáng						
	X ₈	X ₄	X ₂	X ₁	Y ₁	Y ₂	Y ₃	Y ₄	Y ₅	Y ₆	Y ₇
0	0	0	0	0	1	1	1	1	1	1	0
1	0	0	0	1	0	1	1	0	0	0	0
2	0	0	1	0	1	1	0	1	1	0	0
3	0	0	1	1	1	1	1	1	0	0	1
5	0	1	0	0	0	1	1	0	0	1	1
5	0	1	0	1	1	0	1	1	0	1	1
6	0	1	1	0	1	0	1	1	1	1	1
7	0	1	1	1	1	1	1	0	0	0	0
8	1	0	0	0	1	1	1	1	1	1	1
9	1	0	0	1	1	1	1	1	0	1	1

Từ bảng trạng thái ta viết được các phương trình logic quan hệ giữa đầu ra Y₁, ..., Y₇ với các đầu vào X₈, X₄, X₂, X₁. Tuy nhiên các phương trình này phức tạp và đòi hỏi phải tối giản bằng bìa các nô (tối giản hàm).

Ví dụ:

$$\begin{aligned}
 Y_1 = & \bar{X}_8 \bar{X}_4 \bar{X}_2 \bar{X}_1 + \bar{X}_8 \bar{X}_4 X_2 \bar{X}_1 + \bar{X}_8 \bar{X}_4 X_2 X_1 \\
 & + \bar{X}_8 X_4 \bar{X}_2 X_1 + \bar{X}_8 X_4 X_2 \bar{X}_1 + \bar{X}_8 X_4 X_2 X_1 \\
 & + X_8 \bar{X}_4 \bar{X}_2 \bar{X}_1 + X_8 \bar{X}_4 \bar{X}_2 X_1.
 \end{aligned}$$

Chương 3

ĐO DÒNG ĐIỆN VÀ ĐIỆN ÁP

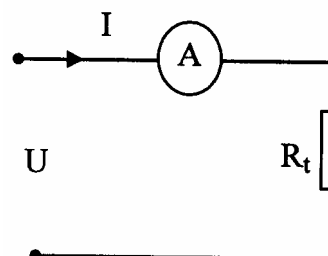
3.1. Những yêu cầu cơ bản của việc đo dòng điện và điện áp

3.1.1. Yêu cầu về điện trở

3.1.1.1. Khi đo dòng điện

Ampemet là một phần tử đặc trưng cho nhóm các phần tử phản ứng với dòng điện như: cuộn dòng của công tơ, wattmet; các role dòng điện... nên khi xét tới yêu cầu đối với ampemet là xét chung cho cả nhóm.

Khi đo dòng, ampemet được mắc nối tiếp với tải (như Hình 3.1) nên điện trở ampemet sẽ ảnh hưởng đến kết quả đo như sau:



Hình 3.1. Sơ đồ đo dòng điện

Giả sử phụ tải có điện trở là R_t , trước khi mắc A vào mạch thì dòng điện được tính: $I = \frac{U}{R_t}$.

Khi mắc A nối tiếp vào mạch, do ảnh hưởng của điện trở A, dòng điện được tính: $I_A = \frac{U}{R_t + R_A}$.

Với I_A là dòng điện chỉ bởi ampemet, R_A là điện trở của ampemet, R_t là điện trở tải. Sai số phụ trong quá trình đo lường sẽ được tính:

$$\gamma_p = \frac{|I - I_A|}{I} = \frac{R_A}{R_t + R_A} \approx \frac{R_A}{R_t}, \text{ vì } R_A \ll R_t$$

Ta thấy sai số do A gây ra đối với mạch tải càng nhỏ nếu điện trở của ampemet càng nhỏ so với điện trở tải. Vì thế yêu cầu đối với ampemet đo dòng điện là điện trở của ampemet càng nhỏ càng tốt.

Với một phụ tải có điện trở là R_t cấp chính xác của ampemet sử dụng là y (hoặc độ chính xác yêu cầu của mạch lấy tín hiệu dòng là l) thì điện trở của ampemet phải đảm bảo điều kiện sao cho:

$$\gamma_p \leq \gamma, \text{ hay ta có } R_A \leq R_t \gamma. \quad (3-1)$$

Nếu không đảm bảo điều kiện trên, sai số phụ gây ra sẽ lớn hơn sai số yêu cầu lúc đó ta phải sử dụng công thức hiệu chỉnh:

$$I = I_A \left(1 + \frac{R_A}{R_t} \right) = I_A (1 + \gamma_p). \quad (3-2)$$

Trong trường hợp điện trở trong của nguồn cung cấp đáng kể so với điện trở tải, thì R_t được tính là điện trở tải cộng thêm với điện trở nguồn.

Ví dụ 3.1: Tính điện trở của (A) khi thí nghiệm đo điện trở một chiều cuộn dây thứ cấp của MBA 560KVA, 10/0,4 KV như Hình 3.2, biết độ chính xác yêu cầu $\gamma\% = 0,5\%$.

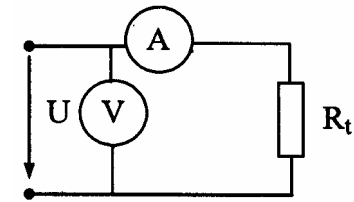
Theo lý lịch, điện trở một chiều của cuộn dây thứ cấp là $R_t = 50 \text{ (m}\Omega\text{)}$.

Giải:

$$\gamma\% = 0,5\%, \text{ ta có: } \gamma = 0,005$$

Theo công thức (3.1)

$$R_A \leq \gamma \cdot R_t = 50 \cdot 0,005 = 0,25 \text{ (m}\Omega\text{)}.$$



Hình 3.2

Như vậy điều kiện cần của việc lấy tín hiệu dòng qua tải đảm bảo sai số nhỏ hơn 0,5% là $R_A \leq 0,25 \text{ (m}\Omega\text{)}$.

Trong thực tế không có (A) nào thoả mãn nên sơ đồ thí nghiệm này không có ý nghĩa.

3.1.1.2. Khi đo điện áp

Volmet là một phần tử đặc trưng cho nhóm các phần tử phản ứng với điện áp như: cuộn áp của công tơ, wattmet; các rơle điện áp, các mạch khuếch đại điện áp... nên khi xét tới yêu cầu đối với volmet là xét chung cho cả nhóm.

Khi đo điện áp, volmet được mắc song song với tải như Hình 3.3. Như vậy ta thấy điện trở của tải được mắc song song thêm với điện trở của volmet và làm thay đổi điện áp trên tải và gây ra sai số phụ trong quá trình đo lường. Xét khi chưa mắc volmet vào mạch, điện áp trên tải được tính:

$$U_t = \frac{E \cdot R_t}{R_t + R_n}$$

trong đó: E là sức điện động của nguồn, R_t là điện trở tải, R_n là nội trở của nguồn.

Xét khi mắc volmet vào mạch, điện áp U_v do volmet đo được sẽ là:

$$U_v = \frac{U_t R_v}{R_0 + R_v}; \text{ với } R_0 = \frac{R_t R_n}{R_t + R_n}$$

Sai số phụ γ_p do volmet gây ra được tính:

$$\gamma_p = \frac{U_t - U_v}{U_t} = \frac{R_0}{R_0 + R_v} \approx \frac{R_0}{R_v} \text{ (nếu } R_0 \ll R_v \text{)}$$

Ta thấy sai số phụ do volmet gây ra càng nhỏ nếu điện trở của nó càng lớn so với điện trở tải. Vì thế yêu cầu đối với volmet là điện trở càng lớn càng tốt. Thực tế trên các thiết bị đo hiện đại hoặc trên đồng hồ vạn năng người ta ghi tổng trở vào của nó.

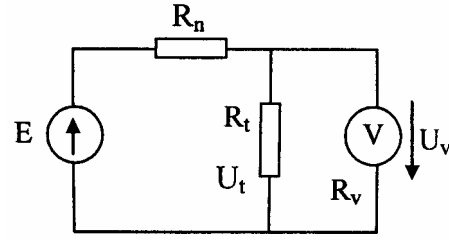
Với một phụ tải có điện trở R_t đặt trong mạch có điện trở nguồn R_n nếu dùng volmet cấp chính xác γ (hoặc độ chính xác yêu cầu của mạch lấy tín hiệu áp là γ) thì điện trở của volmet phải đảm bảo điều kiện sao cho $\gamma_p < \gamma$ hay ta có:

$$R_v \geq \frac{R_0}{\gamma} \quad (3-3)$$

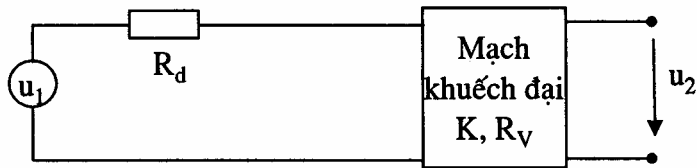
Nếu không đảm bảo điều kiện trên, sai số phụ do volmet gây ra lớn hơn sai số của bản thân cơ cấu chỉ thị và ta phải dùng công thức hiệu chỉnh.

$$U_t = (1 + \gamma_p) U_v \quad (3-4)$$

Ví dụ 3.2: Tính tổng trở vào yêu cầu của mạch khuếch đại của một máy điện tim như Hình 3.4. Biết $u_1 = 7\text{mv}$, $R_d = 100\text{k}\Omega$. (điện trở trung bình da người), độ chính xác yêu cầu $\gamma\% = 1\%$.



Hình 3.3. Sơ đồ đo điện áp



Hình 3.4

Bài làm:

Ta có $\gamma\% = 1\%$ nên $\gamma = 0,01$.

$$\text{Để } \gamma_p \leq \gamma \text{ suy ra } R_v \geq \frac{R_d}{\gamma} = \frac{100\text{k}\Omega}{0,01} = 10(\text{M}\Omega)$$

3.1.2. Yêu cầu về đặc tính tần

Ngoài yêu cầu về điện trở các ampepet và volmet xoay chiều phải có đặc tính tần thích hợp với dải tần số cần đo. Làm việc ở ngoài dải tần số đó sẽ gây sai số phụ do tần số. Sai số này phải tính đến ảnh hưởng của các mạch đo lường đi theo chỉ thị như Shunt, biến dòng, biến áp, chỉnh lưu, khuếch đại v.v. Cũng vì vậy trong nhiều ampepet và volmet, lúc cần đảm bảo sai số do tần số nhỏ hơn giá trị quy định (thường là bé hơn cấp chính xác quy định cho dụng cụ) ta phải sử dụng trong mạch đo có những những khâu bù tần số. Có trường hợp người ta phải sử dụng những linh kiện đặc biệt để đảm bảo tần số làm việc của dụng cụ. Trên các dụng cụ đo dòng và áp xoay chiều có ghi tần số hay giải tần số làm việc.

3.2. Đo dòng điện trung bình và lớn bằng các loại ampepet

3.2.1. Phương pháp sử dụng

Người ta sử dụng một số cơ cấu chỉ thị cơ điện để chế tạo ampepet đo trong mạch một chiều và xoay chiều.

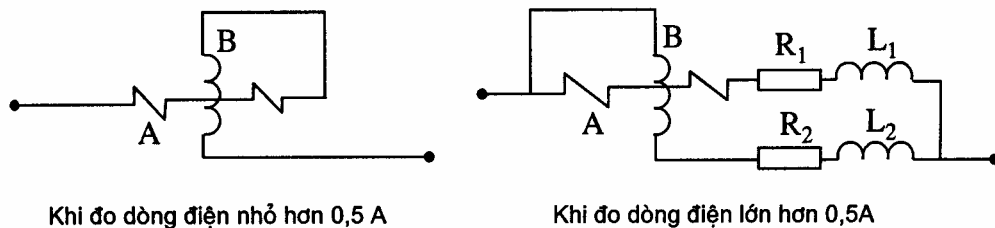
Ampepet từ điện: Chế tạo dựa trên cơ cấu chỉ thị từ điện, có đặc điểm là rất nhạy, tiêu thụ ít năng lượng nên thường dùng để chế tạo ampepet có cấp chính xác từ (0,5 ÷ 2). Đối với ampepet từ điện, khi nhiệt độ thay sẽ làm cho điện trở của cuộn dây thay đổi dẫn tới sai số. Để giảm sai số người ta thường dùng phương pháp bù nhiệt, tức là dùng một nhiệt điện trở có hệ số nhiệt điện trở âm mắc nối tiếp trong mạch của

ampemet, vì vậy sẽ làm cho điện trở của ampemet gần như không thay đổi theo nhiệt độ. Ampemet từ điện chỉ có thể đo dòng điện một chiều.

Ampemet điện từ. Được chế tạo dựa trên cơ cấu chỉ thị điện từ. Loại này có độ chính xác thấp hơn nhưng nó bền chắc, dễ sử dụng và rẻ tiền nên được sử dụng rộng rãi hơn trong công nghiệp. Ampemet điện từ có thể đo được cả dòng một chiều và dòng xoay chiều nhưng chủ yếu là đo dòng xoay chiều. Có nhiều loại ampemet điện từ, chúng giống nhau về nguyên lý làm việc song chỉ khác nhau về hình thức, số vòng dây và kích thước cuộn dây đặt ở phần tĩnh.

Ampemet điện động: Có cấu tạo phức tạp và đắt tiền nên chỉ dùng trong những trường hợp cần độ chính xác cao, hoặc tín hiệu đo có tần số cao hơn. Sai số tần số trong dải từ một chiều tới 3000Hz được xem như không đáng kể.

Với các ampemet điện động khi dòng định mức $I \leq 0,5A$ thì cuộn dây động và cuộn dây tĩnh nối tiếp nhau, còn khi dòng định mức lớn hơn thì cuộn dây động và cuộn dây tĩnh mắc song song với nhau như hình vẽ:

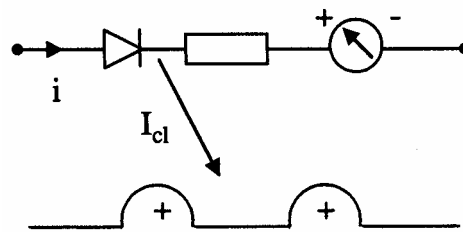


Khi đo dòng điện nhỏ hơn 0,5 A

Khi đo dòng điện lớn hơn 0,5A

Hình 3.5. Các sơ đồ nối các cuộn dây của ampemet điện động

Ampemet chỉnh lưu: Khi đo dòng có tần số cao hàng kHz hoặc mạch đo dòng trong các đồng hồ vạn năng người ta thường dùng các ampemet từ điện chỉnh lưu. Các ampemet chỉnh lưu có thể sử dụng chỉnh lưu một nửa hay hai nửa chu kỳ. Tuy nhiên số chỉ của ampemet



Hình 3.6. Sơ đồ ampemet chỉnh lưu

chỉnh lưu là giá trị trung bình của dòng xoay chiều, nhưng thông thường các dụng cụ đo điện từ hoặc điện động lại chỉ giá trị hiệu dụng của dòng

xoay chiều. Vì thế để thống nhất sử dụng người ta quy ước khắc vạch các dụng cụ chỉnh lưu theo các giá trị hiệu dụng, với điều kiện dòng điện là hình sin. Vậy nếu đem dụng cụ chỉnh lưu đo dòng không sin sẽ phạm thêm sai số về hình dáng, ta phải xác định để hiệu chỉnh.

Nếu chỉnh lưu một nửa chu kỳ thì giá trị dòng điện trung bình qua cơ cấu là:

$$I_{TB} = 0,455I = \frac{\sqrt{2}}{\pi} I$$

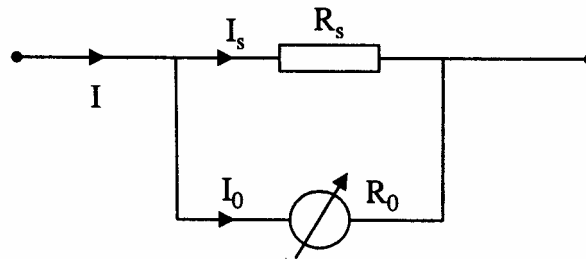
với I là giá trị hiệu dụng của dòng điện xoay chiều. Nếu chỉnh lưu hai nửa chu kỳ thì

$$I_{cltb} = 2 \frac{\sqrt{2}}{\pi} I.$$

3.2.2. Các phương pháp mở rộng thang đo

3.2.2.1. Đối với ampemet một chiều

Ta đã biết cơ cấu chỉ thị từ điện dùng chế tạo các ampemet cho mạch một chiều. Khung dây được quấn bằng dây đồng có kích thước nhỏ từ $0,02 \div 0,04$ mm. Vì vậy dòng điện chạy qua khung dây thông thường nhỏ hơn hoặc bằng 20mA. Vì vậy khi cần đo dòng điện lớn hơn ta phải dùng R_s (điện trở Shunt) đó là điện trở được chế tạo bằng hợp kim của magan có độ ổn định cao so với nhiệt độ. Điện trở Shunt được mắc song song với cơ cấu đo như Hình 3.7 (Shunt = rẽ nhánh).



Hình 3.7. Phương pháp mở rộng thang đo cho ampemet một chiều

Ta gọi I là dòng điện cần đo, I_0 là dòng điện chạy qua cơ cấu, I_s là dòng chạy qua điện trở Shunt R_s , R_0 điện trở của cơ cấu đo.

Ta có:

$$I = I_0 + I_s$$

$$\frac{I_0}{I_s} = \frac{R_s}{R_0} \Rightarrow I_s = \frac{R_0}{R_s} I_0.$$

Từ đó ta có:

$$I = I_0 \left(1 + \frac{R_0}{R_s} \right) = I_0 K_I$$

với $K_I = 1 + \frac{R_0}{R_s}$, gọi là hệ số phân dòng của amperet.

Khi biết R_0 dòng điện định mức lệch toàn thang đo I_0 dòng cần đo I , ta có thể tính được:

$$K_I = \frac{I}{I_0} \Rightarrow R_s = \frac{R_0}{K_I - 1}. \quad (3-5)$$

Một amperet một chiều có thể có nhiều giới hạn đo, thay đổi giới hạn đo bằng cách thay đổi giá trị R_s

Cần chú ý rằng trên Shunt có cấp chính xác, có ghi giá trị dòng định mức, giá trị điện trở và thường phân thành các cực dòng và cực áp riêng như Hình 3.8.

Ví dụ 3.3: Tính điện trở Shunt cho một bề điện phân có dòng cần đo là $I = 10\text{kA}$. Biết dòng định mức qua cơ cấu là $I_0 = 20\text{mA}$, điện trở cơ cấu là $R_0 = 1\Omega$.

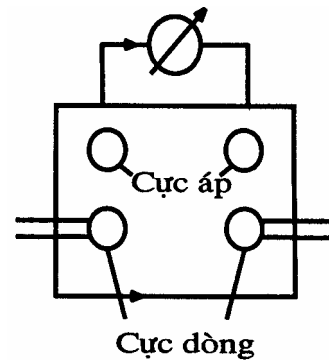
Bài làm:

$$\text{Ta có : } K_I = \frac{I}{I_0} = \frac{10000}{20 \cdot 10^{-3}} = 0,5 \cdot 10^6.$$

Theo công thức (3.5)

$$R_s = \frac{R_0}{K_I - 1} = \frac{1}{0,5 \cdot 10^6 - 1}$$

$$= 2 \cdot 10^{-6} (\Omega) = 2 \mu\Omega.$$

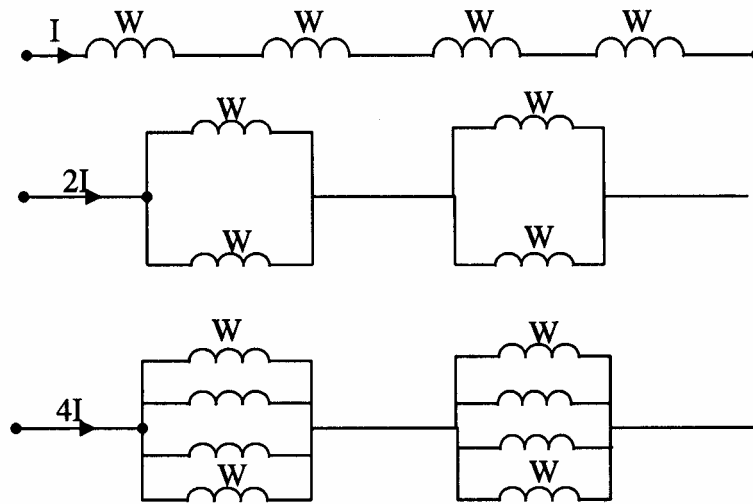


Hình 3.8

3.2.2.2. Đối với ampemet xoay chiều

a) Phương pháp chia nhỏ cuộn dây

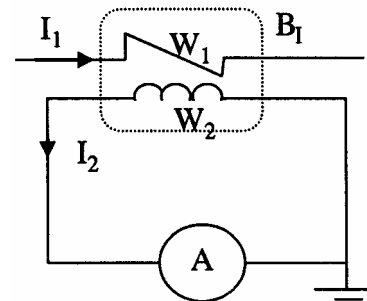
Với ampemet xoay chiều để mở rộng thang đo người ta không dùng R_s , vì như thế sẽ cồng kềnh, đắt tiền, gây tổn thất năng lượng, mất an toàn. Thông thường cuộn dây tĩnh được cấu tạo thành nhiều phân đoạn có số vòng như nhau, thay đổi giới hạn đo bằng cách nối các phân đoạn ấy theo kiểu song song hoặc nối tiếp, tuy nhiên phải đảm bảo điều kiện sức từ động tổng trong thiết bị bằng hằng số.



Hình 3.9. Phương pháp chia nhỏ cuộn dây

b) Phương pháp dùng biến dòng điện

Biến dòng điện (B_1) là một máy biến áp đặc biệt có cuộn sơ cấp rất ít vòng cho dòng phụ tải trực tiếp chạy qua. Cuộn thứ cấp quấn rất nhiều vòng, dây nhỏ và được nối kín mạch với một ampemet (hoặc cuộn dòng của công tơ, wattmet...). Vì điện trở của ampemet rất nhỏ cho nên có thể coi máy biến dòng luôn làm việc ở chế độ ngắn mạch.



Hình 3.10. Sơ đồ dùng B_1 để đo dòng điện

Ta có:

$$I_1 W_1 \approx I_2 W_2$$

hay

$$I_1/I_2 = W_2/W_1 = K_I,$$

K_I gọi là hệ số máy biến dòng.

Thông thường, để dễ dàng cho việc chế tạo và sử dụng, W_1 chỉ có một vòng, ứng với dòng điện I_1 ở chế độ định mức theo một dây số ưu tiên nào đó; W_2 nhiều vòng hơn ứng với dòng I_2 ở chế độ định mức là: $I_{2dm} = 1A$ hoặc $I_{2dm} = 5A$.

Ví dụ: máy biến dòng: 100/5 ; 200/5; 300/5...

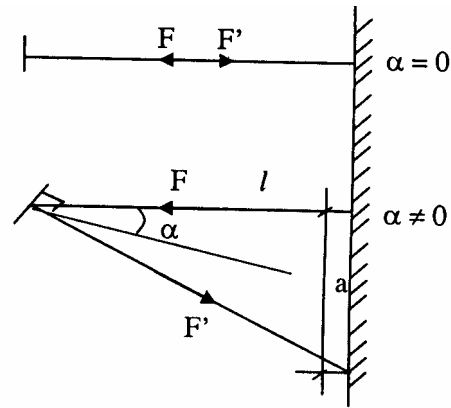
Trong trường hợp amperet nối hợp bộ với biến dòng điện thì số chỉ của amperet được khắc độ theo giá trị dòng điện I_1 phía sơ cấp.

Cần chú ý rằng biến dòng điện là phần tử có cực tính, có cấp chính xác, và phải được kiểm định trước khi lắp đặt.

3.3. Đo dòng điện nhỏ

Đo dòng điện nhỏ được đặt ra khi dòng điện cần đo nhỏ hơn dòng định mức của cơ cấu. Cho tới nay việc nâng cao độ nhạy của dụng cụ và hạ thấp ngưỡng nhạy của dụng cụ và các mạch khuếch đại là rất khó khăn, sau đây là một số phương pháp.

Người ta sử dụng phương pháp cơ khí để tăng độ nhạy của các điện kế, đáng chú ý nhất là điện kế từ điện. Điện kế từ điện sử dụng cơ cấu chỉ thị từ điện có độ nhạy cao. Biện pháp nâng cao độ nhạy là tăng từ cảm trong khe hở không khí và giảm hệ số phản kháng của dây treo.



Hình 3.11. Sử dụng biện pháp quang học

Tăng từ cảm trong khe hở không khí bằng cách dùng nam châm vĩnh cửu có kích thước lớn, tuy nhiên tới nay độ từ cảm trong khe hở không khí của cơ cấu chỉ thị từ điện vẫn chưa vượt quá 0,1T.

Giảm hằng số phản kháng của dây treo, tuy nhiên nếu giảm quá dẫn

đến kéo dài thời gian dao động của cơ cấu gây khó khăn cho việc đo người ta tìm cách dung hoà giữa hai yếu tố trên.

Biện pháp quang học: Là sử dụng khoảng cách từ thang chia độ đến gương quay của điện kế để tăng độ nhạy, gương gắn trên trục của phần động, có một nguồn sáng chiếu vào gương, lia phản xạ của gương chiếu lên thang đo như hình vẽ

$$a = l.tg2\alpha.$$

a là khoảng di chuyển của vật sáng trên thang chia độ,

l là khoảng cách từ gương tới thang chia độ.

Sử dụng gương quay sẽ tăng độ quay của tia phản chiếu khi gương quay đi một góc α so với tia tới, lúc đó tia phản xạ quay đi một góc 2α .

Như vậy độ nhạy được tăng lên gấp hai lần.

3.4. Đo điện áp trung bình và lớn bằng các loại volmet

3.4.1. Phương pháp sử dụng

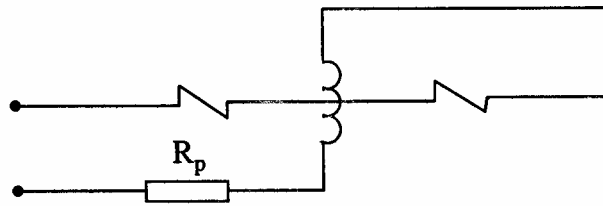
Người ta sử dụng các chỉ thị cơ điện để chế tạo các loại volmet đo điện áp như volmet từ điện, volmet điện từ, volmet điện động.

Volmet từ điện: Volmet từ điện được cấu tạo từ cơ cấu chỉ thị từ điện, loại này thường dùng để đo các điện áp một chiều, có độ nhạy cao, cho phép dòng nhỏ đi qua, cũng có thể sử dụng kèm với bộ chỉnh lưu để đo điện áp trong mạch xoay chiều (trong trường hợp cần nâng cao độ chính xác hoặc nâng cao dải tần số của tín hiệu đo). Tuy nhiên giống như ampemet ta phải chú ý tới hệ số hình dáng của dòng hình sin.

Volmet điện từ: Volmet điện từ có cuộn dây bố trí ở phần tĩnh nên có thể quấn nhiều vòng dây để tạo nên điện trở lớn khá dễ dàng, tuy nhiên nếu quấn nhiều vòng dây quá mà khi đo ở mạch xoay chiều thì xuất hiện dòng điện cảm ứng sinh ra bởi tần số của dòng điện, do đó sẽ ảnh hưởng đến trị số trên thang đo của volmet. Khắc phục điều này bằng cách mắc song song với cuộn dây một tụ điện bù.

Volmet điện động: Khi đo điện áp ở tần số cao hơn tần số công nghiệp hoặc khi cần nâng cao độ chính xác của phép đo ta dùng volmet điện động, trong volmet điện động bao giờ cuộn dây tĩnh và cuộn dây

độ cũng được mắc nối tiếp nhau.



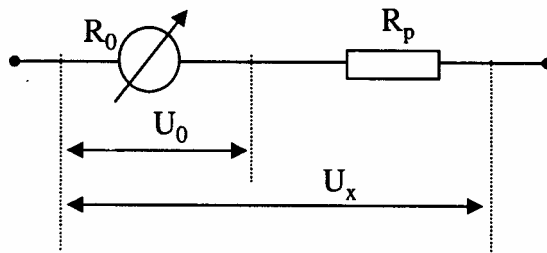
Hình 3.12. Cách nối các cuộn dây trong volmet điện động

Khi đo điện áp có tần số quá cao, sẽ có những sai số phụ do tần số, vì vậy phải bố trí thêm tụ bù cho các cuộn dây tĩnh và động.

3.4.2. Phương pháp mở rộng giới hạn đo

3.4.2.1. Phương pháp dụng điện trở phụ

Yêu cầu cơ bản của volmet là điện trở của nó càng lớn càng tốt vì thế để mở rộng thang đo trong các volmet cách đơn giản nhất là nối thêm điện trở phụ vào cơ cấu đo như Hình 3.13.



Hình 3.13. Mở rộng thang đo cho volmet

với: R_0 điện trở của cơ cấu đo

R_p là điện trở phụ

U_0 điện áp đặt lên cơ cấu

U_x điện áp cần đo.

Ta có:

$$\frac{U_0}{R_0} = \frac{U_x}{R_0 + R_p} \Rightarrow \frac{U_x}{U_0} = \frac{R_0 + R_p}{R_0}$$

Đặt: $K_u = \frac{U_x}{U_0}$ là hệ số mở rộng thang đo

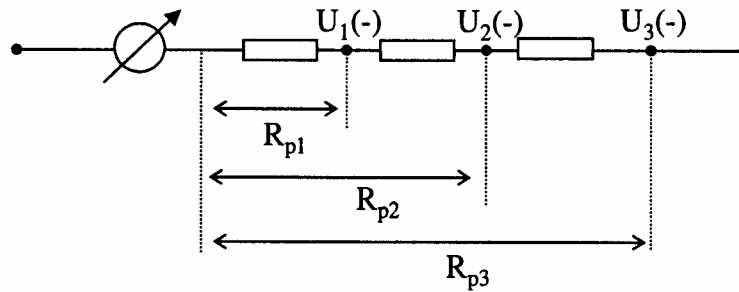
Ta có $K_u = \frac{R_0 + R_p}{R_0}$

$$\Rightarrow K_u R_0 = R_0 + R_p$$

$$\Rightarrow R_p = R_0 (K_u - 1)$$

Các điện trở phụ thường được chế tạo bằng hợp kim của ma ngan có độ chính xác cao và ít thay đổi theo nhiệt độ. Để chế tạo volmet nhiều thang đo thì người ta dùng nhiều điện trở phụ mắc nối tiếp với cơ cấu cần đo.

Ví dụ: Sơ đồ điện của một volmet có ba giới hạn đo



Hình 3.14. Sơ đồ volmet có ba thang đo

3.4.2.2. Phương pháp dùng biến điện áp

Khi cần đo điện áp cỡ lớn hàng KV trở lên, nếu dùng điện trở phụ sẽ cồng kềnh và đắt tiền, tổn hao công suất và mất an toàn, do đó ta phải dùng biến điện áp đo lường B_U . Biến điện áp đo lường là một máy biến áp đặc biệt mà cuộn sơ cấp quấn rất nhiều vòng được nối với điện áp cần đo, cuộn thứ cấp quấn ít vòng hơn được nối với volmet điện từ hoặc điện động (hoặc cuộn áp của công tơ, wattmet...).

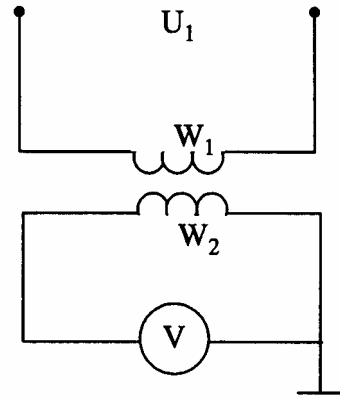
Vì volmet có điện trở lớn nên có thể coi biến điện áp luôn làm việc ở chế độ không tải.

Ta có:

$$\frac{U_1}{U_2} \approx \frac{W_1}{W_2} = K_U.$$

Để tiện trong quá trình sử dụng và chế tạo người ta quy ước điện áp định mức của biến điện áp phía thứ cấp bao giờ cũng là 100V. Còn phía sơ cấp được chế tạo tương ứng với các cấp của điện áp lưới. Khi lắp hợp bộ giữa biến điện áp và volmet người ta khắc độ volmet theo giá trị điện áp phía sơ cấp.

Giống như biến dòng điện, biến điện áp là phần tử có cực tính, có cấp chính xác, và phải được kiểm định trước khi lắp đặt.



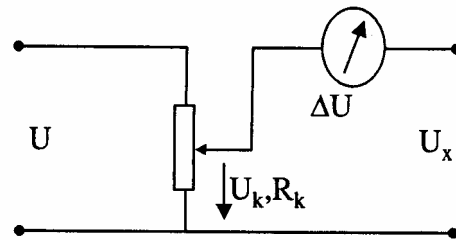
Hình 3.15. Dùng B_U đo điện áp lớn

3.5. Đo dòng điện và điện áp bằng phương pháp so sánh

3.5.1. Khái niệm

Các biện pháp đo dòng và áp kể trên sử dụng chỉ thị cuối cùng là những cơ cấu cơ điện làm quay kim chỉ trên thang chia độ, như vậy sai số không thể nhỏ hơn sai số của các chỉ thị dùng vào dụng cụ và chưa kể đến sai số gây ra do các mạch đo sử dụng. Cấp chính xác cao nhất của các dụng cụ đo cơ điện hiện nay chưa vượt quá 0,01 nên phép đo trực tiếp trên cũng không vượt qua cấp chính xác ấy.

Để nâng cao độ chính xác về phép đo điện áp, để tăng tổng trở vào, người ta dùng phương pháp so sánh hay còn gọi là phương pháp bù tức là so sánh điện áp cần đo với điện áp mẫu. Đây là nguyên lý của tất cả các điện thế kế, các volmet số có độ chính xác cao nhất hiện nay.



Hình 3.16. Sơ đồ nguyên lý đo điện áp bằng phương pháp so sánh

Nguyên tắc cơ bản của phương pháp so sánh được tóm tắt như sau:

Điện áp cần đo U_x được so sánh với điện áp bù U_k là điện áp rơi trên điện trở R_k . R_k là điện trở mẫu có độ chính xác rất cao và rất ít thay đổi theo nhiệt độ. Trong quá trình so sánh nếu $\Delta U = 0$ ta có so sánh cân bằng, nếu $\Delta U \neq 0$ ta có so sánh không cân bằng hay là so sánh kiểu vi sai. U được xác định bằng dụng cụ có độ nhạy cao hay dụng cụ tự động phát hiện sự chênh lệch hay còn gọi là cơ quan zero.

Các loại phương pháp so sánh khác nhau chỉ khác nhau ở cách tạo đại lượng bù U_k . Độ chính xác của điện áp bù và các yêu cầu khác cùng với độ nhạy, ngưỡng độ nhạy của dụng cụ cân bằng hay cơ quan zero đều do sai số yêu cầu của phép đo quyết định.

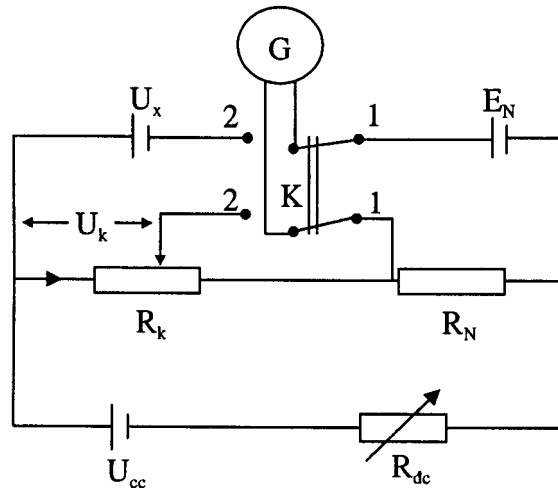
Sau đây ta sẽ tìm hiểu một số dụng cụ đo dùng phương pháp so sánh.

3.5.2. Điện thế kế một chiều

3.5.2.1. Điện thế kế một chiều điện trở lớn

Sơ đồ của điện thế kế một chiều điện trở lớn như Hình 3.17.

R_k , R_{dc} là các biến trở, E_N là nguồn pin mẫu, U_{cc} là điện áp cung cấp cho mạch, U_x là điện áp cần đo, G điện kế chỉ không.



Hình 3.17. Sơ đồ điện thế kế một chiều điện trở lớn

Điện thế kế một chiều điện trở lớn gồm hai mạch chính là mạch tạo dòng công tác và mạch đo. Khi đo ta tiến hành hai thao tác:

+ Điều chỉnh dòng công tác

Khi điều chỉnh dòng công tác ta đóng khoá K sang vị trí 1,1 để nối

điện kế vào mạch tạo dòng công tác, ta điều chỉnh Rác để điện kế G chỉ không, khi đó xảy ra quan hệ:

$$E_N = U_{RN} = I_p \cdot R_{dc}$$

Giá trị dòng công tác:

$$I_p = \frac{E_N}{R_{dc}}$$

+ **Tiến hành đo điện áp cần đo U_X**

Ta đóng khoá K sang vị trí 2,2 để nối điện áp cần đo U_X vào mạch đo, sau đó ta điều chỉnh con trượt trên điện trở R_k cho đến khi điện kế G chỉ không.

Lúc đó ta có quan hệ sau:

$$U_x = U_{R_k} = U_k = I_p R_k = \frac{E_N}{R_{dc}} R_k$$

Vậy điện áp U_X được xác định theo quan hệ trên.

Trên sơ đồ nguồn pin mẫu E_N được chế tạo với độ chính xác các 0,001% ÷ 0,01% và có hệ số nhất định ($E_N = 101863V$). Tuy nhiên giá từ của pin mẫu bị ảnh hưởng bởi nhiệt độ của môi trường xung quanh.

Quan hệ giữa giá trị của phi mẫu với nhiệt độ của môi trường như sau:

$$E_{Nt} = E_{N20^\circ C} - 40 \cdot 10^{-6}(t - 20) - 10^{-6}(t - 20)^2$$

trong đó $E_{N20^\circ C}$ là giá trị của pin mẫu ở nhiệt độ chuẩn $20^\circ C$, thường $E_{N20^\circ C} = 1,0186V$, t là nhiệt độ tại nơi sử dụng điện thế kế.

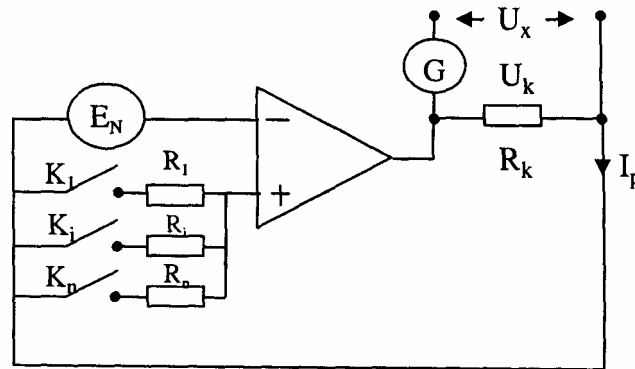
Chú ý: Thông thường người ta điều chỉnh sao cho $R_N = 10186\Omega$ để dòng công tác $I_p = 0,1A$, thuận lợi cho quá trình tính điện áp cần đo U_X .

Sơ đồ điện thế kế một chiều loại này giá trị điện trở R_k tương đối lớn, điện áp cần đo U_X cỡ V cho nên ảnh hưởng của điện trở tiếp xúc và sức điện động tiếp xúc không đáng kể, ngược lại nếu đo điện áp cỡ rất nhỏ ta phải dùng điện thế kế một chiều điện trở nhỏ.

3.5.2.2. Điện thế kế một chiều điện trở nhỏ

Điện thế kế một chiều điện trở nhỏ được chế tạo dựa trên nguyên tắc giữ nguyên giá trị điện trở mẫu R_k thay đổi dòng công tác I_p qua R_k để thay đổi điện áp $U_k = I_p R_k$ bù lại với điện áp U_x .

Sơ đồ nguyên lý của điện thế kế một chiều điện trở nhỏ như hình vẽ:



Hình 3.18. Sơ đồ điện thế kế một chiều điện trở nhỏ

Người ta tạo nguồn dòng mẫu I_p qua điện trở mẫu R_k bằng khuếch đại thuật toán.

Đặt ở đầu vào khuếch đại thuật toán một giren mẫu E_N để bù với điện áp rơi trên các điện trở mắc song song ở đầu vào khuếch đại. Nếu E_N và điện áp rơi trên các điện trở mắc song song U_g bù hoàn toàn nhau:

$$E_N - U_g = \Delta U = 0 \text{ hay } E_N = U_g.$$

Mặt khác từ đầu ra của khuếch đại thuật toán ta có:

$$U_g = \frac{I_r}{g_g} = I_p \frac{1}{g_g}$$

với $g_g = \sum_{i=1}^n g_i$, g_i là các điện dẫn mắc song song ở đầu vào khuếch đại.

Vậy:

$$I_r = U_g \sum_{i=1}^n g_i = E_g \sum_{i=1}^n g_i.$$

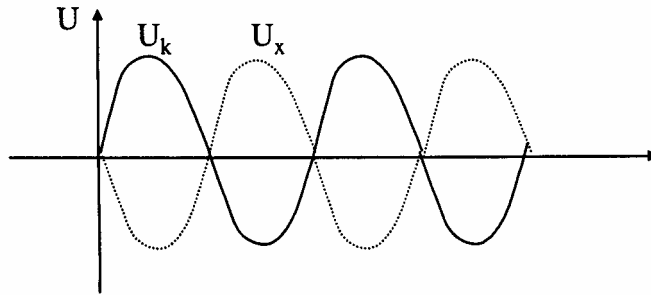
Ta điều chỉnh công tắc K để thay đổi các giá trị dòng công tác I_p cho đến khi kim điện kế chỉ không, ta có:

$$U_x = U_k = R_k I_p = R_k E_N \sum_{i=1}^n g_i .$$

Trong mạch tạo điện áp bù không có đầu tiếp xúc cho nên loại trừ được sai số do sức điện động tiếp xúc và điện trở tiếp xúc. Sai số chủ yếu là do ngưỡng vào và hệ số khuếch đại của bộ khuếch đại quyết định.

3.5.3. Điện thế kế xoay chiều

Về nguyên lý thì điện thế kế xoay chiều cũng so sánh điện áp cần đo với điện áp rơi trên điện trở mẫu khi có dòng điện công tác chạy qua. Song đối với tín hiệu xoay chiều thì việc tạo mẫu và điều chỉnh cân bằng khó khăn và phức tạp.



Hình 3.19. Điều kiện so sánh của U_k và U_x

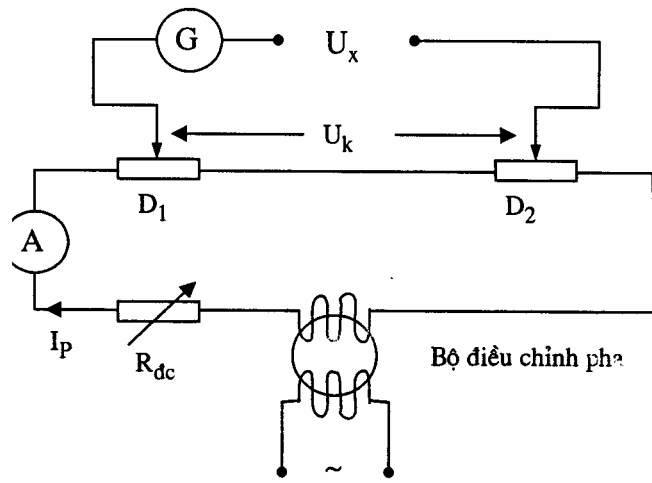
Để hiệu chỉnh dòng công tác trong mạch xoay chiều người ta không dùng giren mẫu (vì không có pin xoay chiều) mà phải chỉnh định nhờ ampemet có độ chính xác cao. Do đó cấp chính xác của điện thế kế xoay chiều không thể vượt quá cấp chính xác của ampemet, mặt khác muốn cho U_x và U_k Cân bằng thì phải điều chỉnh cân bằng cả về modun và về góc pha, tức là thỏa mãn ba điều kiện là điện áp U_x và điện áp U_k phải cùng tần số, cùng bằng nhau về trị số và U_x và U_k phải ngược pha nhau.

Để thực hiện điều kiện thứ nhất người ta mắc điện áp U_x và U_k vào nguồn cùng tần số. Dùng bộ chỉnh không để thực hiện điều kiện thứ hai và phải tách U_k thành hai thành phần lệch nhau 90° tạo U_x ngược U_k

Có hai loại điện thế kế xoay chiều đó là:

- Điện thế kế xoay chiều tọa độ cực;
- Điện thế kế xoay chiều tọa độ vuông góc (Đề các).

3.5.3.1. Điện thế kế xoay chiều tọa độ cực

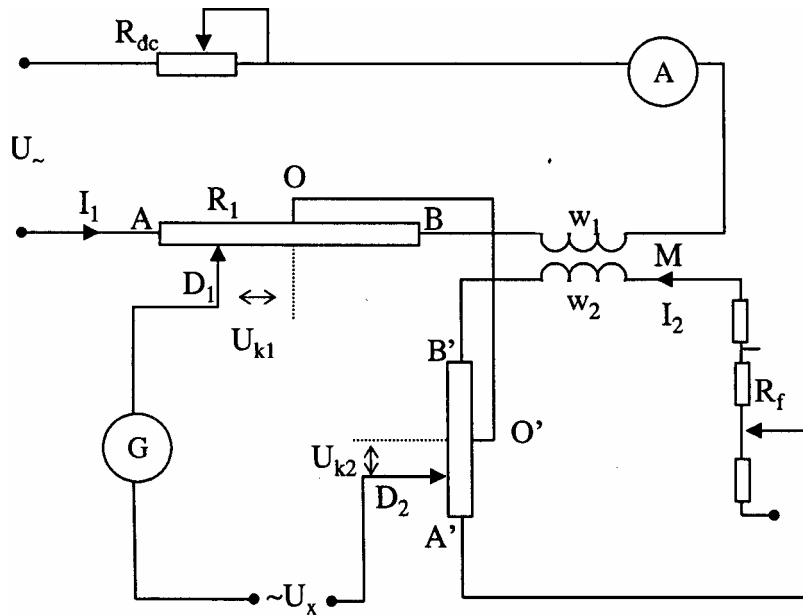


Hình 3.20. Điện thế kế xoay chiều toạ độ cực

Trong điện thế kế xoay chiều loại này, điện áp cần đo U_X được cân bằng với điện áp rơi trên điện trở R (xác định bởi các con trượt D_1 và D_2) Môđun $U_X = I_p R$. Dòng công tác I_p được xác định nhờ ampeomet chính xác cao và điện trở R điều chỉnh (R_{dc}). Bộ điều chỉnh pha dùng để cân bằng về pha, đồng thời cũng làm nguồn cung cấp cho mạch tạo dòng công tác I_p , bộ điều chỉnh pha này chính là nhược điểm của điện thế kế xoay chiều vì khó xác định chính xác vị trí ổn định của phần quay ứng với góc quay khi điều chỉnh pha và dòng I_p thay đổi làm cho việc điều chỉnh cân bằng khó khăn.

3.5.3.2. Điện thế kế xoay chiều toạ độ vuông góc

Trong điện kế sử dụng hai cuộn dây đặt gần nhau và dùng hồ cảm M của chúng tạo U_k thành hai thành phần lệch nhau 90° và U_X sẽ cân bằng với tổng hai véc tơ thành phần.



Hình 3.21. Điện thế kế xoay chiều toạ độ vuông góc

Sơ đồ gồm hai mạch công tác và một mạch đo. Mạch công tác thứ nhất gồm biến trở dây quấn đã được chuẩn hoá AB có điểm giữa là O, cuộn sơ cấp w_1 của biến áp không lõi thép, ampeomet A và điện trở (R_{dc}). Dòng điện I_1 từ nguồn cung cấp xoay chiều (được xác định nhờ ampeomet) tạo trên biến trở AB một điện áp U_{AB} . Điện áp U_{k1} được xác định bởi dòng I_1 và vị trí con trượt D_1 trên biến trở AB. Vì dòng I_1 không thay đổi trong quá trình đo nên thang chia độ được khắc theo giá trị điện áp trên biến trở AB.

Mạch công tác thứ hai gồm biến trở dây quấn đã được chuẩn hoá A'B' có điểm giữa O' nối với điểm O ở giữa của biến trở AB, cuộn thứ cấp w_2 của biến áp không lõi và hộp điện trở R_f để bù tần số. Dòng điện I_2 trong mạch công tác lệch pha với I_1 góc 90° (vì điện cảm L_2 không lớn lắm nên có thể coi như I_2 trung pha với E_2 mà E_2 lệch pha với E_1 một góc 90°). Trong mạch thứ nhất I_1 có giá trị xác định nên I_2 cũng có giá trị xác định:

$$I_2 = \frac{E_2}{R_{A'B'} + R_f + \omega L_2} \approx \frac{\omega M I_1}{R_{A'B'} + R_f},$$

M là hồ cảm của w_1 và w_2

Ta xác định $U_{k2} = I_2 R_2$ (R_2 là một phần điện trở của AB được xác định nhờ vị trí của con trượt D_2 trên $A'B'$). Vì $U_{k1} = I_1 R_1$ và $U_{k2} = I_2 R_2$ mà I_1 và I_2 lệch nhau một góc 90° nên U_{k1} và U_{k2} cũng lệch pha nhau 90° .

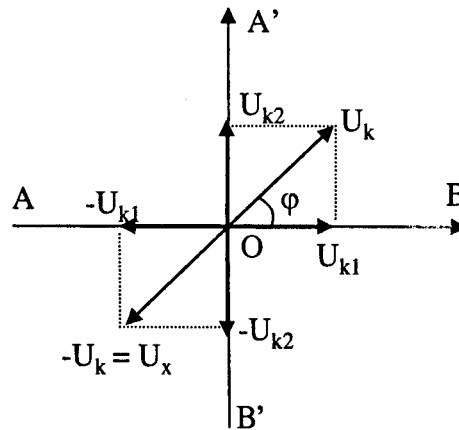
Chú ý rằng khi tần số f thay đổi $\omega = 2\pi f$, như vậy khi ω thay đổi dẫn tới I_2 thay đổi và giá trị khắc độ trên AB cũng thay đổi. Để khắc phục người ta dùng hộp điện trở phụ R_f để bù cho tần số không đổi (tức là R_f thay đổi phụ thuộc vào sự thay đổi của tần số nguồn cung cấp).

Mạch đo là mạch chủ yếu của điện thế kế bao gồm nguồn tín hiệu cần đo U_x , điện thế kế chỉ không G, các phần của biến trở dây quấn chuẩn D_1O , D_2O' .

Đồ thị biểu diễn các giá trị U_k như Hình 3.19.

Điều chỉnh các con trượt U_{k1} và U_{k2} trên các biến trở dây quấn AB và $A'B'$ thông qua tính toán ta sẽ được trị hiệu dụng và góc pha của điện áp U_x cần đo

$$U_x = \sqrt{U_{k1}^2 + U_{k2}^2}, \quad \text{tg}\varphi = \frac{U_{k2}}{U_{k1}}.$$



Hình 3.22. Đồ thị véc tơ xác định U_x

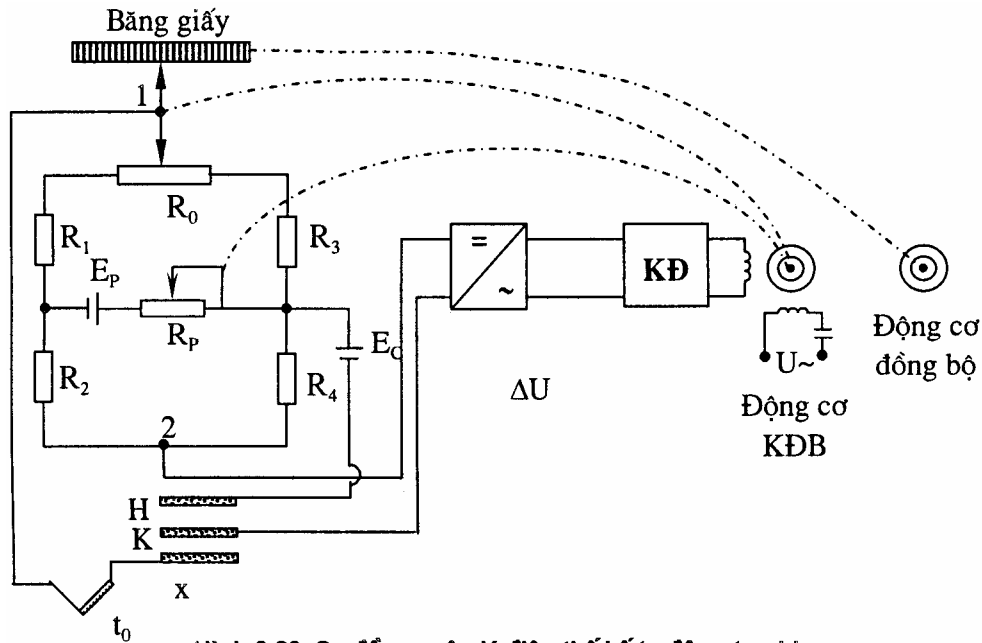
Sai số chủ yếu của điện thế kế xoay chiều là sai số của ampermet (nhỏ nhất là 0,1)

3.5.3.3. Điện thế kế tự động tự ghi

Loại này thường dùng đo nhiệt độ lò tôi, ram, nhiệt luyện, dùng nhận

dạng các đối tượng là lò gia nhiệt.

- Sơ đồ tóm tắt nguyên lý như Hình 3.23.



Hình 3.23. Sơ đồ nguyên lý điện thế kế tự động tự ghi

Sơ đồ gồm các khối như sau:

+ Cặp nhiệt điện có nhiệm vụ biến đổi từ nhiệt độ t_x sang suất điện động một chiều E_x . Với hệ thống thực thường có thêm mạch bù nhiệt độ đầu tự do.

+ Cầu so sánh gồm E_p , R_p và các điện áp mẫu khác như: R_0 , R_1 , R_2 , R_3 , R_4 . Nhiệm vụ là tạo ra các điện áp mẫu một chiều với độ chính xác cao (Trong thiết bị thực tế E_p được lấy từ nguồn điện áp xoay chiều 220V qua bộ chỉnh lưu, qua ổn áp một chiều với chất lượng cao).

+ Bộ biến đổi một chiều, xoay chiều có nhiệm vụ biến đổi điện áp một chiều ΔU thành điện áp xoay chiều tần số 50Hz. Mạch này có thể là con rung cơ học hoặc rung điện tử.

+ Mạch khuếch đại có nhiệm vụ khuếch đại tín hiệu xoay chiều với công suất đủ lớn để cung cấp cho cuộn dây điều khiển động cơ KĐB. Tầng cuối của mạch khuếch đại sẽ là khuếch đại công suất nhạy pha

+ Hai động cơ gồm một động cơ không đồng bộ có nhiệm vụ kéo con trượt trên các biến trở R_p , R_0 và một động cơ đồng bộ có nhiệm vụ

kéo băng giấy chuyển động trong chế độ tự ghi.

Quá trình đo được chia làm hai bước:

Kiểm tra độ chính xác của các điện áp mẫu

Lúc này khoá K ở vị trí H trực tiếp giảm tốc của động cơ KĐB được đưa vào ăn khớp với đầu biến trở R_p . Khi đó nguồn suất điện động chuẩn E_c được so sánh với điện áp U_4 là điện áp rơi trên điện trở R_4

Ta có:

$$\Delta U = E_c - U_4$$

trong đó E_c là một nguồn chuẩn với độ chính xác rất cao có sẵn trong thiết bị.

ΔU được đưa vào mạch biến đổi một chiều, xoay chiều sau đó được đưa tới mạch khuếch đại và tín hiệu được khuếch đại lên với công suất đủ lớn để cung cấp cho cuộn dây điều khiển của động cơ KĐB. Vì tầng cuối của mạch khuếch đại là khuếch đại công suất nhạy pha nên pha của điện áp trên cuộn dây điều khiển sẽ phụ thuộc vào dấu của ΔU .

Tóm lại, khi $\Delta U \neq 0$, động cơ KĐB sẽ quay kéo con trượt trên đầu biến trở R_p để thay đổi điện áp U_k theo chiều hướng sao cho $\Delta U \rightarrow 0$. Lúc đó mất tín hiệu điều khiển và dừng lại. Các điện áp mẫu trên các nhánh của cầu coi như đạt yêu cầu về độ chính xác.

Quá trình đo nhiệt độ

Lúc này khoá K ở vị trí X, trực tiếp giảm tốc của động cơ KĐB được đưa về ăn khớp với đầu biến trở R_0

Nhờ cặp nhiệt điện, nhiệt độ cần đo biến thành suất điện động một chiều E_x . Khi đo E_x ta so sánh với U_{12} là điện áp rơi trên các điện trở mẫu R_1, R_2 và một phần R_0 . Ta có: $\Delta U = E_x - U_{12}$

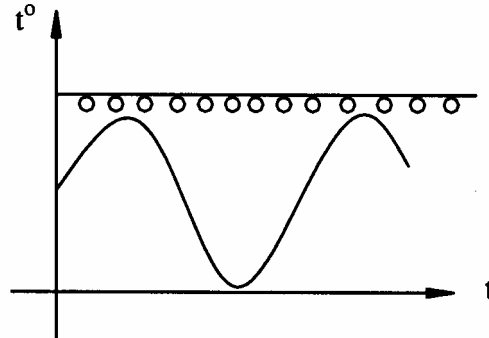
Khi $\Delta U \neq 0$ thì theo nguyên lý ở phần trên, động cơ KĐB sẽ quay, kéo con trượt trên đầu biến trở R_0 để thay đổi U_{12} có xu hướng sao cho $\Delta U \rightarrow 0$ thì mất tín hiệu điều khiển và dừng lại. Lúc đó ta xác định được $E_x = U_{12}$. Vậy căn cứ vào vị trí của con trượt trên biến trở R_0 ta xác định được U_{12} rồi ta suy ra E_x . Thực tế trên R_0 người ta có sẵn các vạch chia theo đơn vị nhiệt độ nên ta đọc được kết quả.

Quá trình tự ghi

Lúc này trên đầu biến trở R_0 ta gắn sẵn một ngòi ghi, ngòi ghi tỳ lên băng giấy (một cách liên tục hoặc gián đoạn hoặc bằng nhiệt).

Trong chế độ tự ghi băng giấy được động cơ đồng bộ kéo chuyển động với tốc độ không đổi. Như vậy sẽ tạo ra trục thời gian t .

Ta thấy khi to thay đổi, ngòi ghi sẽ chuyển động từ trái sang phải nhờ động cơ KĐB, còn băng giấy thì chuyển động với tốc độ không đổi từ dưới lên trên nhờ động cơ đồng bộ nên ngòi ghi sẽ vẽ trên băng giấy biểu đồ nhiệt độ theo thời gian.



Hình 3.24. Kết quả quá trình tự ghi

3.6. Đo điện áp bằng các volmet chỉ thị số

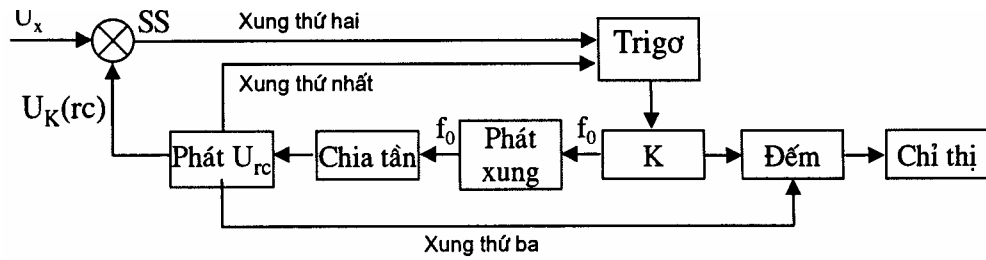
Ngày nay volmet số được sử dụng rộng rãi trong đo lường vì khả năng chính xác khá cao, gọn nhẹ, thuận tiện cho người sử dụng. Tùy theo cách biến đổi điện áp thành các đại lượng để chỉ thị số mà người ta chia ra thành ba loại volmet số như sau:

- Volmet số chuyển đổi thời gian;
- Volmet số chuyển đổi tần số;
- Volmet số chuyển đổi trực tiếp (chuyển đổi bù).

3.6.1. Volmet số chuyển đổi thời gian

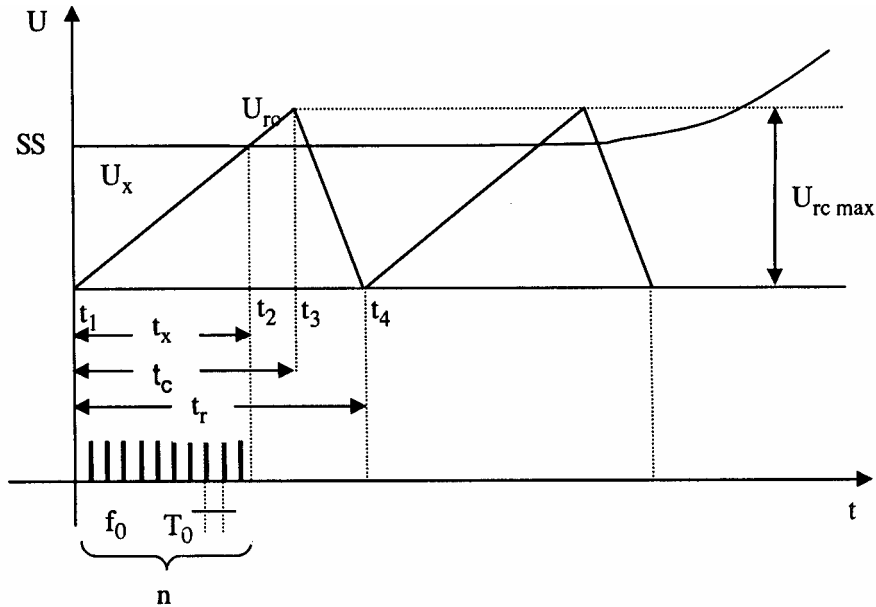
Nguyên lý chung là biến đổi điện áp cần đo thành khoảng thời gian, sau đó lấp đầy khoảng thời gian bằng các xung có tần số chuẩn (f_0) sau đó dùng bộ đếm để đếm số lượng xung (N) tỷ lệ với U_x để suy ra U_x

Sơ đồ cấu trúc chung của volmet số như sau:



Hình 3.25. Sơ đồ cấu trúc volmet số chuyển đổi thời gian một nhịp

Biểu đồ thời gian:



Hình 3.26. Dạng điện áp

Nguyên lý làm việc:

Khi mở máy tại thời điểm t_1 , máy phát xung chuẩn qua bộ chia tần khởi động máy phát xung răng cưa, đầu ra máy phát xung răng cưa có U_{rc} (U_k) ởi tiên bộ so sánh để so sánh với điện áp U_x cần đo ở đầu vào. Đồng thời cũng từ đầu ra của bộ phát điện áp răng cưa có xung thứ nhất đến trigơ và đặt trigơ ở trạng thái kích hoạt để mở khoá K cho phép các xung mang tần số chuẩn (f_0) từ phát xung qua khoá K đến bộ đếm và chỉ thị số. Tại thời điểm t_2 khi $U_x = U_{rc}$ thiết bị so sánh phát xung thứ 2 tác động vào trigơ và khoá khoá K, thời gian từ t_1 đến t_2 tương ứng với t_x . Từ đây ta có mối quan hệ:

$$\frac{t_x}{t_c} = \frac{U_x}{U_{rc\max}} \Rightarrow t_x = \frac{t_c}{U_{rc\max}} U_x.$$

Với một máy phát điện áp rãng còn cố định thì t_c và t_x là hằng số, vì vậy U_x tỷ lệ với t_x số lượng xung đến bộ đếm trong khoảng thời gian t_x sẽ là:

$$n = \frac{t_x}{T_0}; T_0 = \text{hằng số.}$$

Vậy:
$$n = f_0 t_x = \frac{t_c}{U_{rc\max}} f_0 U_x.$$

Số lượng xung đi qua khoá K trong một chu kỳ của điện áp rãng của tỷ lệ với điện áp cần đo.

Sai số chủ yếu là do máy phát điện áp rãng của gây ra, tức là t_c và t_x khác hằng số, tiếp theo là sai số lượng tử.

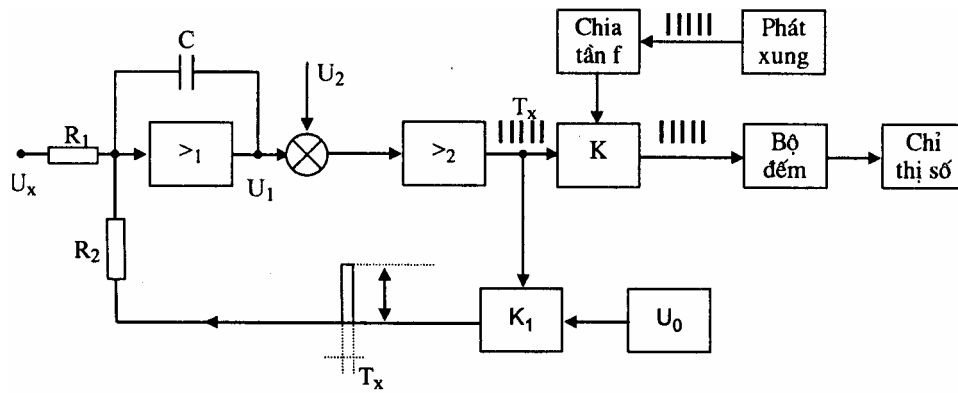
Chú ý: Khi U_x biến thiên với một tốc độ nào đó thì không thể đo được vì đường cong điện áp rãng của không cắt U_x . Do vậy sự biến thiên của điện áp U_x Phải đảm bảo điều kiện sau:

$$\left(\frac{dU_x}{dt} \right)_{\max} = \frac{U_{rc\max}}{t_c}.$$

3.6.2. Volmet số chuyển đổi tần số

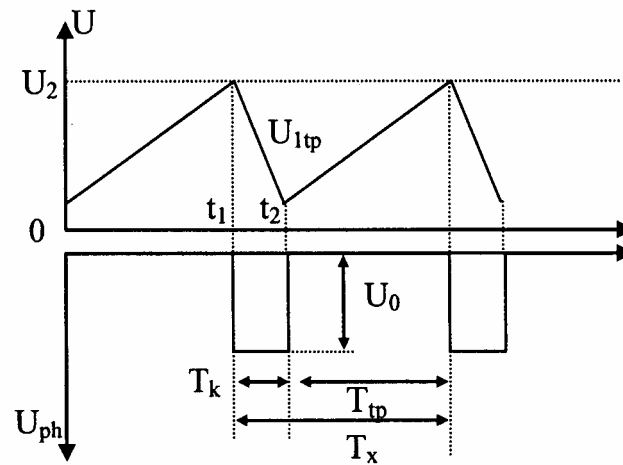
Nguyên lý làm việc của volmet số chuyển đổi tần số dựa trên nguyên tắc biến điện áp thành tần số rồi dùng các máy đo tần số để chỉ thị theo điện áp.

Sơ đồ cấu trúc của volmet số chuyển đổi tần số như sau



Hình 3.27. Sơ đồ cấu trúc của volmet số chuyển đổi tần số

Điện áp cần đo U_x được đưa đến đầu vào, qua khâu tích phân sẽ được điện áp U_1 . U_1 được so sánh với điện áp U_2 (điện áp U_2 có độ ổn định cao). Khi $U_1 = U_2$ thiết bị so sánh phát xung qua khuếch đại 2 (tại thời điểm từ thông khoá K_1 và K để đến bộ đếm, chỉ thị số. Khi K_1 thông, điện áp U_0 (ngược dấu với U_1) qua K_1 đến bù với điện áp U_1 (đây là mạch phóng điện của tụ C) trong khoảng thời gian T_k (từ t_1 đến t_2) tại t_2 điện áp U_0 bù hoàn toàn U_1 .



Hình 3.28. Dạng điện áp

Quá trình làm việc như sau:

$$\begin{aligned} \frac{1}{\tau_1} \int_0^{t_{tp}} U_x dt &= \frac{1}{\tau_2} \int_0^{T_k} U_0 dt - \frac{1}{\tau_1} \int_0^{T_k} U_x dt \\ \frac{1}{\tau_1} U_{xtb} t_{tp} &= \frac{1}{\tau_2} U_0 T_k - \frac{1}{\tau_1} U_x T_k = U_2 \\ \frac{1}{R_1 C} U_{xtb} t_{tp} + \frac{1}{R_1 C} U_{xtb} T_k &= \frac{1}{R_2 C} U_0 T_k \\ \frac{1}{R_1 C} U_{xtb} (t_{tp} + T_k) &= \frac{1}{R_2 C} U_0 T_k \end{aligned}$$

$$\text{Mà } t_{tp} + T_k = T_x$$

$$\begin{aligned} \frac{1}{R_1 C} U_{xtb} T_x &= \frac{1}{R_2 C} U_0 T_k \\ \Rightarrow T_x &= \frac{R_1}{R_2} \frac{U_0 T_k}{U_x} \Rightarrow f_x = \frac{R_2}{R_1} \frac{U_x}{U_0 T_k} = K U_x \end{aligned}$$

Vậy tần số f_x tỷ lệ với điện áp cần đo U_x

Để chỉ thị số ta dùng phân tạo gốc thời gian và các khoá, bộ đếm và chỉ thị số giống như một máy đo tần số nhưng hiển thị theo điện áp. Cụ thể bộ tạo gốc thời gian là máy phát xung chuẩn T_0 để tạo thời gian $T_c = kT_0$ điều khiển khoá cho các xung mang tần số f_x qua nó. Số lượng xung mang tần số f_x qua khoá K trong khoảng thời gian T_c đến chỉ thị số được xác định như sau:

$$\begin{aligned} N &= \int_0^{T_c} f_x dt = \int_0^{T_c} \frac{R_2}{R_1} \frac{U_x}{U_0 T_k} dt \\ N &= \frac{R_2}{R_1} \frac{U_x}{U_0 T_k} T_c. \end{aligned}$$

Để đảm bảo chính xác thì nguồn tạo điện áp U_0 phải ổn định, sai số của volmet loại này có hai loại đó là sai số do chuyển từ điện áp sang tần số khoảng 0,2% và sai số lượng tử khoảng 0,01%.

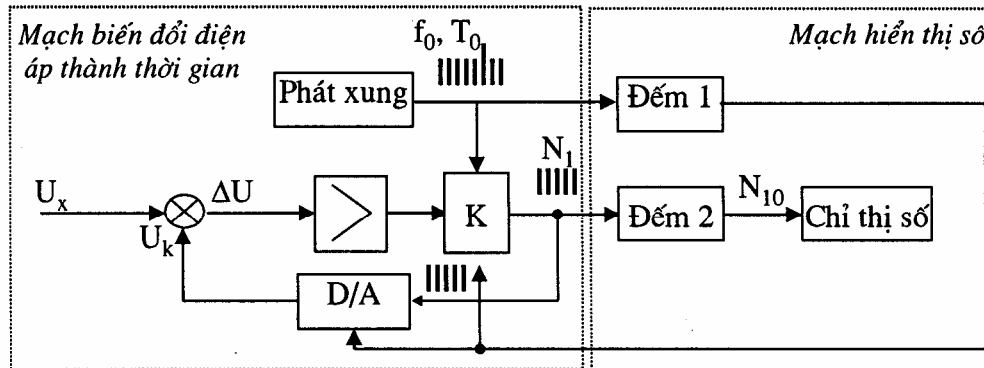
3.6.3. Volmet số chuyển đổi trực tiếp

Ta so sánh điện áp cần đo U_x với điện áp chuẩn U_k phụ thuộc vào việc gia công đại lượng bù U_k và quy trình so sánh với U_x mà người ta phân ra thành volmet số chuyển đổi trực tiếp kiểu bù quét và volmet số biến đổi trực tiếp kiểu tùy động.

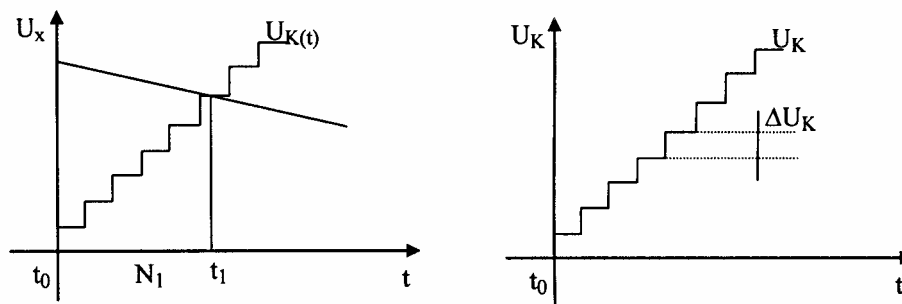
3.6.3.1. Volmet số chuyển đổi trực tiếp kiểu bù quét

Điện áp bù U_k thay đổi lặp lại theo chu kỳ, trong mỗi chu kỳ biến thiên của U_k ta lấy số đo một lần tức là tại thời điểm U_x , U_k ta đọc kết quả của phép đo. Điện áp bù U_k có thể thay đổi tuyến tính hoặc thay đổi theo bậc thang. Nếu thay đổi theo bậc thang thì có bậc thang bằng nhau và bậc thang không bằng nhau.

Sơ đồ cấu trúc gồm hai phần: phần chuyển đổi điện áp U_x thành khoảng thời gian T_x và phần đo khoảng thời gian. Thực chất gồm hai phần là phần biến đổi điện áp cần đo thành số lượng xung N_1 và phần tiếp theo làm nhiệm vụ biến đổi số lượng xung N_1 thành mã thập phân N_{10} để điều khiển các phần tử hiển số.



Hình 3.29. Sơ đồ volmet số chuyển đổi trực tiếp



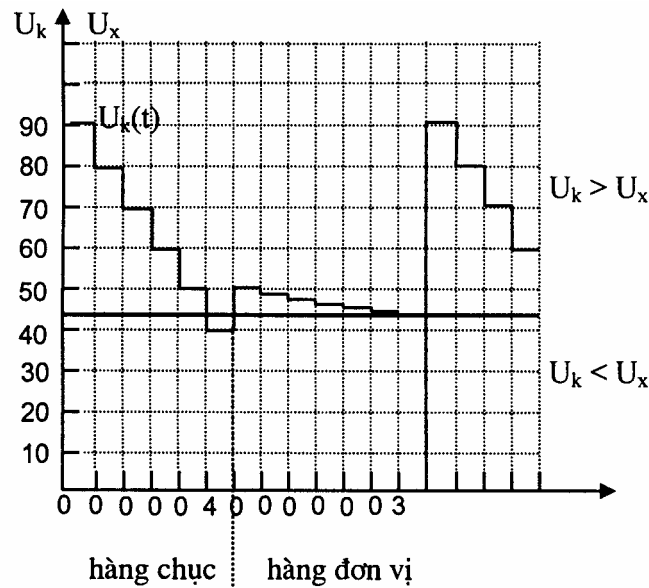
Hình 3.30. Dạng điện áp của volmet số chuyển đổi trực tiếp kiểu bù quét

Nguyên lý làm việc:

Khi mở máy, bộ phát xung chuẩn bắt đầu làm việc, các xung f_0 đến bộ đếm 1 và khoá K; sau một tập xung f_0 tương ứng với thời điểm t_0 thì bộ đếm 1 phát xung đến thông khoá K, trong thời gian K thông các xung mang f_0 qua K đến bộ đếm 2 và chỉ thị số. Đồng thời cứ mỗi xung f_0 đến D/A sẽ tăng điện áp ra của nó U_k lên một mức ΔU (các mức ΔU bằng nhau). Quá trình tiếp tục cho đến khi $U_k \approx U_x$ (tại thời điểm trị bộ so sánh tác động vào bộ khuếch đại tạo tín hiệu khoá khoá K. Quá trình đo kết thúc và bộ phận chỉ thị hiện kết quả. Nếu tất cả các mức điện áp ΔU tạo nên U_k liệu bằng nhau thì số lượng xung N_1 sẽ tỷ lệ với điện áp cần đo U_x tức là $U_x \approx U_k = N_1 \Delta U$. Đây là giá trị tức thời của điện áp cần đo tại thời điểm t_1 . Nếu muốn đo U_x tại thời điểm khác thì quá trình đo sẽ lặp lại từ đầu.

Đối với volmet chỉ thị bù quét với đại lượng U_k thay đổi theo các bậc thang không bằng nhau. Trong các volmet này các mức bậc thang ΔU không như nhau, có thể tạo các ΔU theo từng hàng đếm của con số ở hệ đếm nhất định. Do đó có thể dựa vào hệ đếm nhị phân, nhị thập phân và thập phân để gia công điện áp bù U_k .

Ví dụ 3.4: Quá trình gia công điện áp bù U_k theo hệ đếm thập phân.



Hình 3.31. Quá trình gia công điện áp bù

Quá trình so sánh từ hàng lớn nhất, với $U_x = 43V$. Con số thập phân có hai hàng đếm là hàng chục và hàng đơn vị. Nguyên lý của quá trình so sánh như sau:

+ Nếu $U_k > U_x$ thì mã sẽ ghi là 0.

+ Nếu $U_k \leq U_x$ thì mã sẽ ghi là một số tương ứng với hàng đếm của U_k và khi hiệu $|U_k - U_x| < \Delta U$ (mức của hàng đếm) thì quá trình so sánh sẽ chuyển sang hàng đếm nhỏ hơn). Cụ thể ở đây ta bắt đầu so sánh U_x với $U_k = 90$ ta sẽ được mã ra là 0, $U_k = 80$ ta sẽ được mã ra là 0,... cho đến khi $U_k = 40$ tức là:

$U_k < U_x$ hoặc $|U_k - U_x| < 10$ (mức của hàng chục)

$$|40 - 43| < 10$$

$$|3| < 10$$

Lúc này mã ra sẽ là 4 (ở hàng chục nên ghi là 40) tiếp tục quá trình so sánh sẽ diễn ra ở hàng đơn vị với giá trị lớn nhất của hàng là 9 và mỗi mức $\Delta U = 1$

Khi $U_k = 9$; $U_x = 3$; mã ra là 0

$U_k = 8$; $U_x = 3$; mã ra là 0

...

$U_k = 3$; $U_x = 3$; mã ra là 3

Quá trình gia công U_k kết thúc ta sẽ được tổng giá trị

$$\begin{aligned} U_k &= U_{k10} + U_{k1} \\ &= 40 + 3 = 43 = U_x. \end{aligned}$$

Ở đây U_{k10} là mã hàng chục, U_{k1} là mã hàng đơn vị.

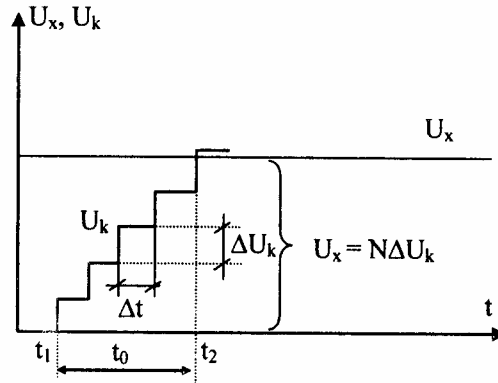
3.6.3.2. Volmet số chuyển đổi trực tiếp kiểu tùy động

Trong các volmet này đại lượng bù U_k thay đổi luôn bám theo sự biến thiên của đại lượng cần đo U_x . Vì vậy trong cấu trúc của nó có bộ chuyển đổi A/D, D/A tác động theo hai chiều thuận nghịch. Đặc điểm cơ bản của dụng cụ đo là khả năng cho kết quả liên tục tại thời điểm bất kỳ. Volmet số chuyển đổi trực tiếp kiểu tùy động có hai loại bao gồm loại gia công đại lượng bù U_k thay đổi theo bậc thang bằng nhau và loại gia

công đại lượng bù U_k thay đổi theo bậc thang không bằng nhau.

a) *Volmet số chuyển đổi trực tiếp kiểu tùy động* có U_k thay đổi theo bậc thang bằng nhau.

Nguyên lý cơ bản



Hình 3.32. Dạng điện áp bù

Điện áp U_x được so sánh với điện áp bù U_k bắt đầu từ thời điểm t_1 điện áp U_k tăng liên tục, mỗi mức tăng là ΔU_k (là nhưng bậc thang bằng nhau) cho đến thời điểm t_2 khi $U_x \approx U_k$. Xuất hiện bất phương trình $U_x - U_k < \Delta U_k$ sẽ kết thúc quá trình đo và cho ra kết quả ở chỉ thị số.

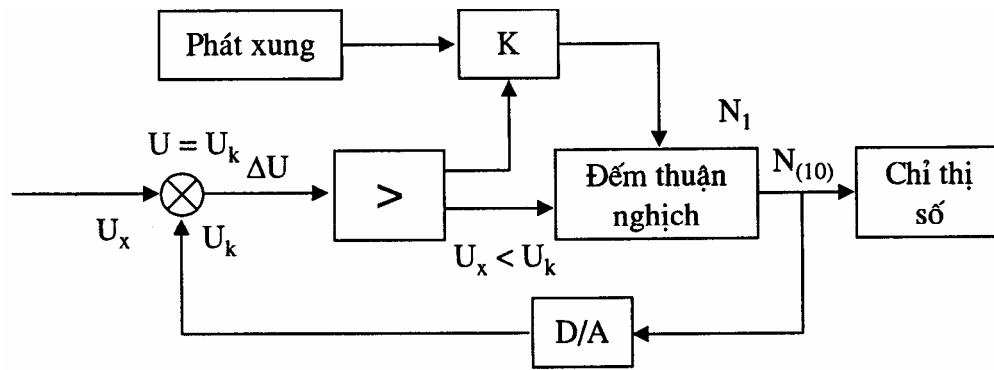
Thời gian gia công được xác định bởi số mức lượng tử lớn nhất (N_{dm}) và thời gian Δt của một mức lượng tử.

$$t_0 = N_{dm} \Delta t$$

Dựa vào sai số lượng tử yêu cầu để xác định N_{dm} .

$$\gamma_k \% = \frac{1}{2N_{dm}} 100; N_{dm} = \frac{100}{2\gamma_k}.$$

+ *Volmet số chuyển đổi trực tiếp kiểu tùy động* với bộ đếm thuận nghịch có cấu trúc như sau:

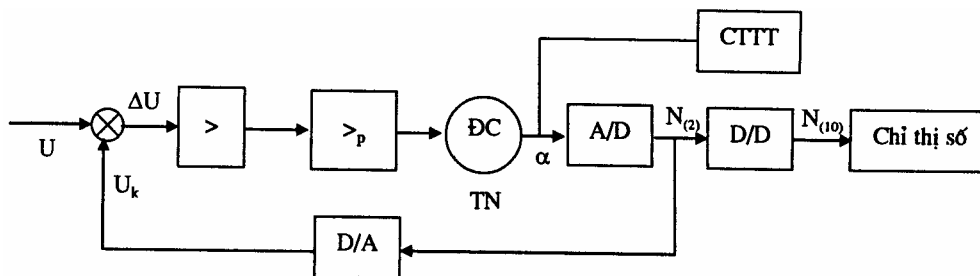


Hình 3.33. Cấu trúc của volmet số kiểu tùy động với bộ đếm thuận nghịch

Khi bắt đầu làm việc bộ phát xung chuẩn phát liên tục đến chờ ở khoá (K). Tại thời điểm $U_x = 0$ hoặc $U_x = U_k$ thì khoá (K) khoá, các xung mang tần số f_0 không thể đến bộ đếm thuận nghịch. Khi $U_x > U_k$ tức là $U_x - U_k = \Delta U > 0$, tín hiệu ΔU qua khuếch đại có lệch đến thông khoá K và điều khiển bộ đếm làm việc ở chế độ cộng. Mã ra của bộ đếm điều khiển bộ chuyển đổi D/A tăng dần U_k cho đến khi $U_x \approx U_k$ thì khoá K sẽ khoá, kết thúc quá trình đo, bộ phận chỉ thị số cho kết quả đo. Khi $U_x < U_k$ tức là $U_x - U_k = \Delta U < 0$ thì khuếch đại có lệch tạo xung thông khoá K, điều khiển bộ đếm làm việc ở chế độ trừ. Mã ra của bộ đếm điều khiển chuyển đổi A/D giảm U_k cho đến khi $U_x \approx U_k$ thì khoá K sẽ khoá, bộ phận chỉ thị số cho kết quả đo.

+ Volmet số chuyển đổi trực tiếp kiểu tùy động với động cơ thuận nghịch.

Sơ đồ khối như sau:



Hình 3.34. Cấu trúc volmet số kiểu tùy động với động cơ thuận nghịch

Ta mã hoá góc quay α của động cơ (tức là ΔU đã được biến thành

góc α của động cơ). Dụng cụ thường có hai đầu ra, một đầu là mã số, một đầu khác là tín hiệu tương tự (sau động cơ) có thể ghi hoặc chỉ thị bằng kim trên thang chia độ. Khâu A/D của dụng cụ là chuyển đổi không gian dùng mặt nạ hoặc thước mã hoá để biến đổi góc quay α thành mã Gray rồi từ mã Gray thành mã nhị phân, giải mã, chỉ thị số.

b) *Volmet số chuyển đổi trực tiếp kiểu tùy động có U_k thay đổi theo bậc thang không bằng nhau.*

Volmet gồm hai loại với hai phép gia công U_k như sau:

+ Gia công U_k từ hàng đếm lớn nhất

Trạng thái ban đầu, tất cả các hàng đếm (Đề các) đều bằng 0 tức là $U_k = 0$. Trong mỗi hàng bắt đầu từ số nhỏ nhất của hàng đếm tăng dần U_k cho đến khi hiệu $U_x - U_k < \Delta U_k$ của hàng đó thì chuyển sang hàng đếm nhỏ hơn và quá trình lặp lại như trên. Quá trình đo (gia công) kết thúc khi:

$$U_x - \sum_{m=1}^{i-1} U_{ki} < \Delta U_k$$

hàng nhỏ nhất, thiết bị so sánh sẽ thông báo điều này.

Nếu $U_x = \text{const}$ thì U_k sẽ tăng liên tục hoặc giảm liên tục, số mức lượng tử không lớn lắm. Nếu U_x biến thiên, U_k sẽ thay đổi cho phù hợp với sự biến thiên của U_x sơ đồ điều khiển sẽ phức tạp hơn, số lượng nhịp thực hiện gia công U_k được xác định:

$$n = a_1 + a_2 + a_3 + a_4 + \dots$$

trong đó: n là số lượng nhịp; a_1, a_2, a_3, \dots là số mức của các Đề các tạo thành giá trị số của đại lượng cần đo.

Thời gian cực đại gia công theo phương pháp này:

$$t_0 = k \cdot 9 \cdot \Delta t$$

k là số Đề các, 9 là chữ số trong một Đề các.

+ Gia công U_k từ hàng nhỏ nhất

Trạng thái ban đầu $U_k = 0$ và bắt đầu từ giá trị nhỏ nhất của hàng nhỏ nhất. Ví dụ hàng đơn vị: $U_k = 0, 1, 2, 3, \dots, 9$. Nếu gia công hết hàng nhỏ

mà hiệu $U_x - U_k > \Delta U_{k1}$ (ΔU_{k1} là mức giá trị của hàng nhỏ nhất) thì tiếp tục gia công đến hàng lớn hơn khi xuất hiện $U_k > U_x$ tức là hiệu $U_x - U_k$ đổi dấu thì quay trở về hàng đếm nhỏ nhất và giảm dần từng mức ΔU_{k1} để giảm U_k cho đến khi $U_k \approx U_x$. Quá trình đo kết thúc và kết quả hiện ra ở chỉ thị số. Ưu điểm của phương pháp này là sơ đồ điều khiển tương đối đơn giản, nhược điểm là thời gian gia công dài, nhất là trường hợp dùng bốn Đèn các đếm số 9090 phải thực hiện 90 nhịp. Thời gian gia công số có bốn chữ số:

$$t_0 = 90 \cdot \Delta t.$$

Chương 4

ĐO CÔNG SUẤT VÀ NĂNG LƯỢNG

4.1. Đo công suất và năng lượng trong mạch một pha

4.1.1. Đo công suất tác dụng bằng wattmet điện động

4.1.1.1. Đo công suất trong mạch một chiều

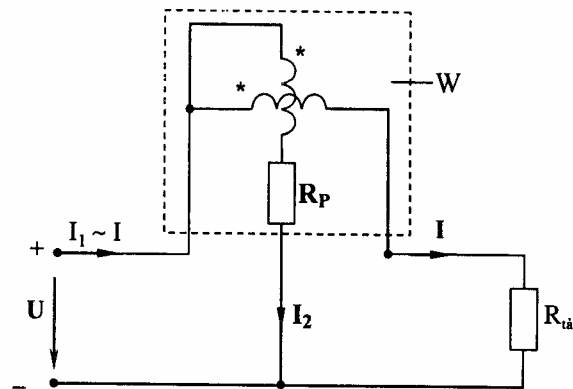
Đo công suất người ta thường dùng wattmet điện động, wattmet điện động được chế tạo dựa trên cơ cấu chỉ thị điện động, góc quay của cơ cấu chỉ thị điện động được tính như sau:

$$\alpha = KI_1I_2 \cos \psi \quad (4-1)$$

với ψ là góc lệch pha giữa các dòng I_1 và I_2

Sơ đồ mắc wattmet điện động như Hình 4.1.

Wattmet điện động có hai cuộn dây, cuộn dây tĩnh còn gọi là cuộn dòng được cuốn bằng dây có kích thước lớn, ít vòng, cho dòng phụ tải trực tiếp chạy qua hoặc nối với thứ cấp của biến dòng điện, nó đóng vai trò như một amperemet. Cuộn dây động hay còn gọi là cuộn áp thường được nối tiếp với R_p , được oặt trực tiếp lên điện áp của phụ tải hoặc nối với thứ cấp của biến điện áp đo lường, nó đóng vai trò như một volmet.



Hình 4.1. Sơ đồ mắc W điện động

Xét với mạch một chiều ta có:

$$\cos \psi = 1, I_1 \approx I$$

$$I_2 = \frac{U}{R_p + R_u}$$

với R_u là điện trở một chiều của cuộn dây động.

Thay giá trị I_2 vào (4-1) ta có:

$$\alpha = K \frac{U}{R_p + R_u} I = K_1 P \quad (4-2)$$

với P là công suất tác dụng mà phụ tải tiêu thụ qua W và $K_1 = \frac{K}{R_p + R_u}$

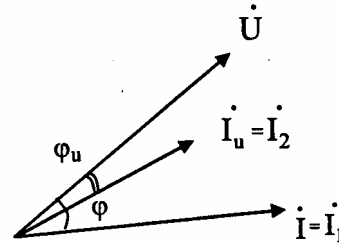
Kết luận: Góc quay α tỉ lệ bậc nhất với công suất tiêu thụ trên tải, vậy có thể dùng wattmet điện động để đo công suất trong mạch một chiều.

4.1.1.2. Đo công suất trong mạch xoay chiều

Giả sử mạch xoay chiều có điện áp $u = U_m \sin \omega t$ và dòng phụ tải $i = I_m \sin(\omega t - \varphi) = i_1$

Ở đây φ là góc tải.

Vì cơ cấu không có mạch từ nên dòng i_2 chỉ chậm pha hơn so với điện áp u một góc khá nhỏ nào đó. Ta có đồ thị véc tơ như Hình 4.2.



Hình 4.2. Đồ thị véc tơ dòng điện của wattmet

Vậy $i_2 = i_u = I_{um} \sin(\omega t - \varphi_u)$

$$I_u = \frac{U}{Z_u}$$

với $Z_u = z_u e^{j\varphi_u}$ là tổng trở phức cuộn dây động và R_p .

$$z_u = \frac{r_u}{\cos \varphi_u}, \quad (r_u = R_u + R_p).$$

Vẫn từ công thức (4-1) ta có:

$$\alpha = KI \frac{U}{Z_u} \cos(\varphi - \varphi_u) \quad (4-3)$$

với φ_u là góc lệch pha giữa điện áp và dòng điện trong cuộn dây động.

Cuối cùng ta tính được:

$$\alpha = K \frac{UI \cos \varphi_u}{r_u} \cos(\varphi - \varphi_u) = K_1 S \cos \varphi_u \cos(\varphi - \varphi_u) \quad (4-4)$$

Ta xét hai trường hợp:

- Coi góc φ_u rất nhỏ: $\varphi_u \approx 0$ ($X_u \ll R_u$)

Khi đó góc quay $\alpha = K_1 S \cos \varphi = K_1 P$

Thực tế góc φ_u tuy khá nhỏ nhưng khác 0 vì vậy dẫn đến những sai số trong quá trình đo lường

$$\gamma_P \% = \frac{P_w - P}{P} 100\% = \frac{K_1 S \cos \varphi_u \cos(\varphi - \varphi_u) - K_1 S \cos \varphi}{K_1 S \cos \varphi}$$

$$\gamma_P \% = \left[\frac{\cos \varphi_u \cos(\varphi - \varphi_u)}{\cos \varphi} - 1 \right] \times 100\% .$$

Sau khi biến đổi biểu thức và thay: $\sin \varphi_u \approx \varphi_u$, $\sin^2 \varphi_u \approx 0$, ta được kết quả:

$$\gamma_P \% = \varphi_u \operatorname{tg} \varphi . 100\% . \quad (4-5)$$

Kết luận: Sai số khi dùng wattmet điện động phụ thuộc vào cấu trúc của wattmet (φ_u) và tính chất của phụ tải ($\operatorname{tg} \varphi$).

Chú ý:

- Góc quay $\alpha = K_1 S \cos \varphi$, nếu ta đổi đầu 1 trong 2 cuộn dây dòng hoặc áp thì góc lệch pha

$$\varphi' = \pi \pm \varphi$$

Vậy:

$$\alpha' = K S \cos \varphi' = -\alpha .$$

Wattmet sẽ quay theo chiều ngược lại, vì vậy ta nói rằng wattmet có cực tính, các đầu dây cùng cực tính thường được đánh dấu (*) để nối chúng với nhau.

Góc quay α của wattmet tỉ lệ với công suất tác dụng trên phụ tải song thang chia độ của wattmet không chia theo đơn vị công suất mà chia thành một số vạch nhất định. Giá trị của mỗi vạch chia được đặc trưng bởi hệ số của wattmet C_w :

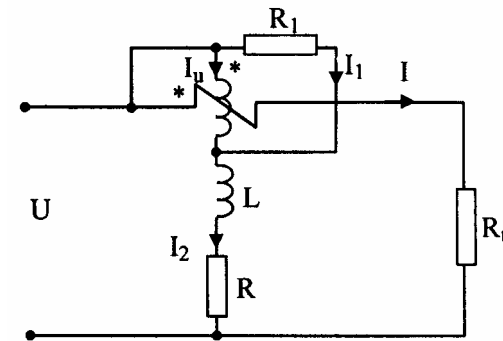
$$C_{wk} = \frac{U_{nk} I_{nk}}{\alpha_n} \quad (4-6)$$

trong đó U_{nk} , I_{nk} là điện áp và dòng điện định mức ứng với thang đo thứ k nào đó. α_n là số vạch trên chia trên toàn thang đo. Wattmet điện động có thể có nhiều giới hạn đo (Tại sao?) mỗi giới hạn có một hệ số C_w tương ứng. Công suất đo được tính bằng tích của hệ số C_w trên thang đo tương ứng với số vạch chia mà kim chỉ thị thể hiện.

$$P = C_{wk} \cdot \alpha.$$

4.1.1.3. Đo công suất phản kháng

Ta sử dụng wattmet điện động cùng với điện trở, cuộn cảm. Sơ đồ mắc như sau: Cuộn dây dòng điện được mắc nối tiếp với phụ tải. Cuộn dây điện áp được mắc song song với một điện trở R_1 , sau đó được mắc nối tiếp với một cuộn cảm L và điện trở R , ta điều chỉnh trị số R_1 , L , R sao cho U và I vuông góc với nhau. Khi đo góc quay α của wattmet là:



Hình 4.3. Sơ đồ mắc wattmet để đo công suất phản kháng

$$\begin{aligned} \alpha &= K_1 \cdot U \cdot I \cos (I_u, I) \\ &= K_1 \cdot U \cdot \sin \varphi = K_1 \cdot Q. \end{aligned} \quad (4-7)$$

4.1.2. Wattmet sử dụng những phần tử phi tuyến

4.1.2.1. Wattmet nhiệt điện

a) Cơ sở lý luận chung

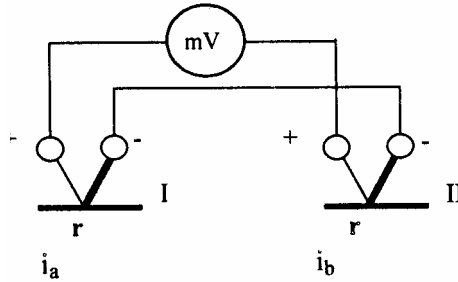
Wattmet điện động chỉ đo công suất trong mạch điện tần số thấp và ở một dải tần nhất định. Khi cần đo công suất ở tần số cao hoặc cả trong một dải tần rộng nào đó người ta dùng wattmet nhiệt điện. Phần tử cơ bản được sử dụng trong wattmet nhiệt điện là hai cặp nhiệt điện giống

nhau A, B được mắc như Hình 4.4.

Gọi công suất sinh ra trên các điện trở nhiệt r là: p_a, p_b . Rõ ràng suất điện động trên các cặp nhiệt ngẫu sẽ tỉ lệ với p_a, p_b

$$E_a = K.p_a; \quad E_b = K.p_b$$

với K là hệ số tỉ lệ.



Hình 4.4. Nguyên lý W nhiệt điện

Giả thiết người ta bố trí sao cho dòng điện qua điện trở r_1 bằng tổng của hai dòng i_1, i_2 còn dòng điện qua ra bằng hiệu i_1, i_2

$$i_a = i_1 + i_2, \quad i_b = i_1 - i_2$$

Khi đó có thể tính được công suất nhận được tin các điện trở r như sau:

$$p_a = \frac{1}{T} \int_0^T i_a^2 . r . dt = \frac{1}{T} \int_0^T (i_1 + i_2)^2 . r . dt = \frac{1}{T} \int_0^T (i_1^2 + i_2^2 + 2i_1i_2) . r . dt . \quad (4-8)$$

Tương tự

$$p_b = \frac{1}{T} \int_0^T i_b^2 . r . dt = \frac{1}{T} \int_0^T (i_1^2 + i_2^2 - 2i_1i_2) . r . dt . \quad (4-9)$$

Từ đó có thể viết:

$$E_a = \frac{K.r}{T} \int_0^T (i_1^2 + i_2^2 + 2i_1i_2) . r . dt \quad (4-10)$$

$$E_b = \frac{K.r}{T} \int_0^T (i_1^2 + i_2^2 - 2i_1i_2) . r . dt . \quad (4-11)$$

Với cách nối các cặp nhiệt ngẫu như hình vẽ số chỉ của mỹ sẽ bằng:

$$E_a - E_b = \frac{4.K.r}{T} \int_0^T i_1 i_2 dt. \quad (4-12)$$

Rõ ràng số chỉ của mV tỷ lệ với $\frac{1}{T} \int_0^T i_1 i_2 dt$. Vấn đề ở đây ta cần phải đo công suất tiêu thụ trên tải. Mà ta biết công suất tiêu thụ trên tải sẽ bằng $\frac{1}{T} \int_0^T u.idt$.

Vì vậy ta phải xây dựng sơ đồ sao cho các dòng điện i_a, i_b là tổng và hiệu của các dòng i_1, i_2 . Mặt khác các dòng i_1, i_2 lại phải tỷ lệ với dòng điện và điện áp trên tải tức là

$$i_1 = a.u; i_2 = b.i.$$

Khi đó

$$i_a = au + bi; i_b = au - bi$$

Số chỉ của máy sẽ là:

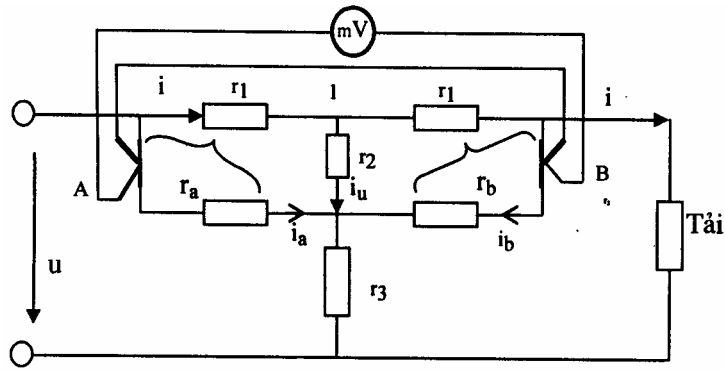
$$E = E_a - E_b = \frac{4K.r}{T} \int_0^T a.u.b.idt = \frac{4abK.r}{T} \int_0^T u.idt = CP \quad (4-13)$$

với $C = 4abKr$.

Tức số chỉ của máy tỷ lệ với các công suất tác dụng trên phụ tải bị

b) Wattmet nhiệt điện

Trên cơ sở lý thuyết nêu trên, ta xây dựng sơ đồ nguyên lý như hình vẽ



Hình 4.5. Sơ đồ wattmet nhiệt điện

Trên sơ đồ A, B là các cặp nhiệt điện, r_1 là điện trở có giá trị rất nhỏ, là dòng điện phụ tải, ta có: $i_u \leq i$.

Với cách bố trí mạch như trên ta có:

$$u_{12} = \frac{u \cdot r_2}{r_2 + r_3} = K \cdot u \quad (4-14)$$

$$i_a = \frac{i r_1 + u_{12}}{r_a} = \frac{r_1}{r_a} \cdot i + \frac{K}{r_a} \cdot u = a \cdot u + b \cdot i \quad (4-15)$$

Tương tự

$$i_b = \frac{u_{12} - i r_1}{r_b} = a u - b i \quad (4-16)$$

Trên sơ đồ thường chọn $r_a = r_b = r$. Kết hợp với cơ sở lý luận ban đầu số chỉ của máy trong sơ đồ này sẽ tỷ lệ với công suất tác dụng P lên phụ tải.

4.1.2.2. Wattmet sử dụng phân tử bình phương

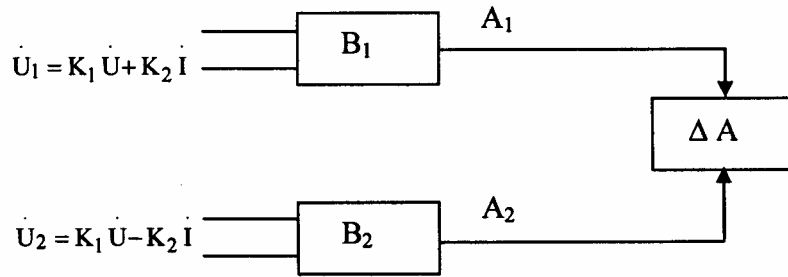
a) Cơ sở lý luận chung

Ta biết trong thiết bị điện có những phân tử mà đầu ra (dòng, áp) tỷ lệ với bình phương đầu vào và như vậy giá trị trung bình đầu ra cũng tỷ lệ với bình phương giá trị trung bình đầu vào. Những phân tử như vậy có thể sử dụng để đo công suất tác dụng P trong mạch. Loại thường dùng là diết bán dẫn.

Giả thiết đại lượng đầu ra A tỷ lệ bình phương với điện áp vào u

$$A = n \cdot u^2.$$

Sơ đồ cấu trúc tổng hợp sử dụng hai phần tử phi tuyến B_1, B_2 như hình vẽ:



Hình 4.6. Nguyên lý W sử dụng phần tử bình phương

Người ta tổng hợp sao cho

$$U_1 = K_1 U + K_2 I; \quad U_2 = K_1 U - K_2 I \quad (4-17)$$

với U, I là điện áp và dòng điện cần sử dụng để đo công suất P . Lúc đó ta có:

$$|U_1|^2 = |K_1 U|^2 + |K_2 I|^2 + 2K_1 U \cdot K_2 I \cos \varphi$$

$$|U_2|^2 = |K_1 U|^2 + |K_2 I|^2 - 2K_1 U \cdot K_2 I \cos \varphi$$

với φ là góc lệch pha giữa điện áp và dòng điện trên phụ tải.

Từ đó có thể viết:

$$A_1 = n \left[|K_1 U|^2 + |K_2 I|^2 + 2K_1 U K_2 I \cos \varphi \right]$$

$$A_2 = n \left[|K_1 U|^2 + |K_2 I|^2 - 2K_1 U K_2 I \cos \varphi \right]$$

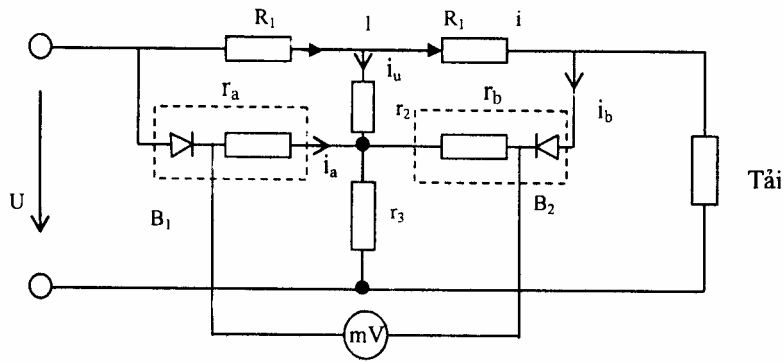
$$\Rightarrow \Delta A = A_1 - A_2 = 4nK_1 K_2 U I \cos \varphi = CP \quad (4-18)$$

với C là hệ số tỷ lệ, P là công suất cần đo.

Vậy có thể đo ΔA rồi suy ra công suất cần đo.

b) Warrtmet sử dụng phần tử bình phương - điốt bán dẫn

Sơ đồ cụ thể đo công suất sử dụng B_1, B_2 như sau:



Hình 4.7. Wattmet sử dụng điốt bán dẫn

Trên sơ đồ r_1 là điện trở Shunt. Ta biết với một bán dẫn dòng điện tỷ lệ với bình phương điện áp tức là

$$i_a = K \cdot U_a^2, i_b = K \cdot U_b^2$$

Từ đó ta có:

$$t = 0 \div \frac{T}{2} \Rightarrow i_a = K \cdot U_a^2$$

$$t = \frac{T}{2} \div T \Rightarrow i_a = 0$$

$$\Rightarrow I_{aTB} = \frac{1}{T} \int_0^T K \cdot U_a^2 \cdot dt = \frac{1}{T} \int_0^{\frac{T}{2}} K \cdot U_a^2 \cdot dt = K' U_a^2. \quad (4-19)$$

Lúc đó giá trị trung bình của điện áp rơi trên điện trở ra là:

$$U_{1TB} = I_{aTB} \cdot r_a = r_a \cdot K' \cdot U_a^2$$

Tương tự, nếu trên phần tử B_2 xuất hiện điện áp U_b với giá trị hiệu dụng U_b lúc đó ta cũng có:

$$U_{2TB} = r_b \cdot K' \cdot U_b^2.$$

Từ hình vẽ ta có:

$$\dot{U}_A = \dot{I} r_1 + U_{12} = \dot{I} r_1 + \dot{U} \cdot \frac{r_2}{r_2 + r_3} = K_1 \dot{U} + K_2 \dot{I} \quad (4-20)$$

$$\dot{U}_B = -\dot{I} r_1 + U_{12} = -\dot{I} r_1 + \dot{U} \cdot \frac{r_2}{r_2 + r_3} = K_1 \dot{U} - K_2 \dot{I} \quad (4-21)$$

Trên thực tế thường chọn $r_a = r_b = r$, lúc đó điện áp trên mV sẽ bằng

$$|U_{1TB}|^2 - |U_{2TB}|^2 = K' \cdot r_a U_a^2 - K' \cdot r_b U_b^2 = 4K' r UI \cos \varphi = C.P. \quad (4-22)$$

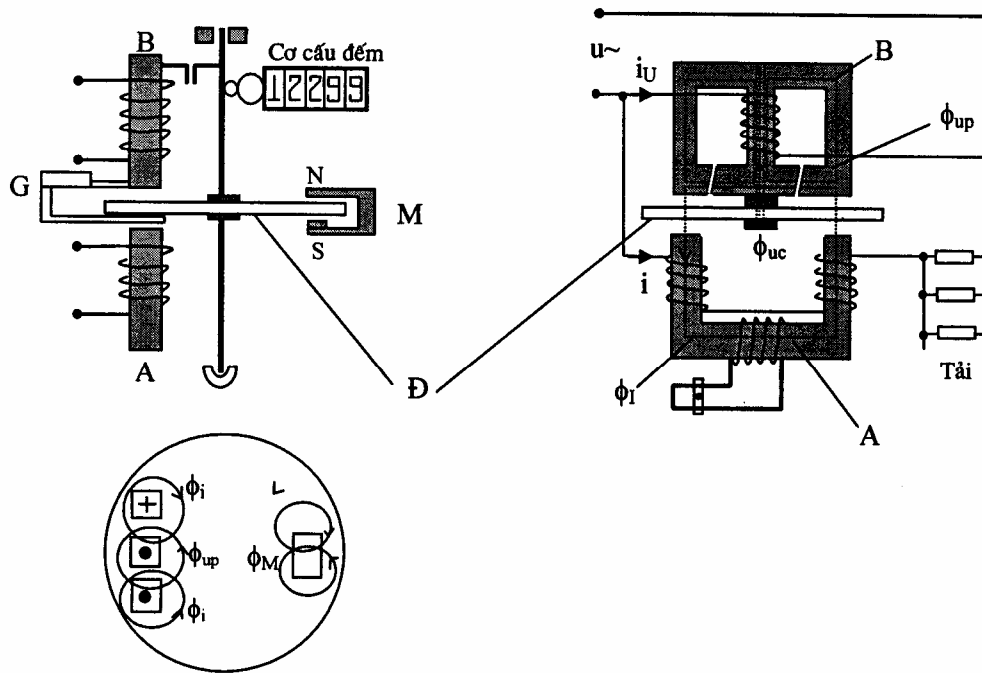
Chú ý: Wattmet này sử dụng trong dải tần rất rộng, tới hàng nghìn Hz có sai số từ 1 ÷ 3 % và tiêu thụ một công suất rất nhỏ.

4.3.1. Đo năng tương tác dụng bằng công tơ cảm ứng một pha

Có rất nhiều cách đo năng lượng, song công tơ cảm ứng một pha được ứng dụng rộng rãi nhất trong kỹ thuật vì mômen quay lớn, độ làm việc tin cậy, sai số nằm trong phạm vi cho phép.

4.1.3.1. Cấu tạo

Cấu tạo của công tơ một pha như Hình 4.8 gồm hai nam châm điện A và B.



Hình 4.8. Cấu tạo của công tơ một pha

- Nam châm điện A gọi là cuộn dòng, thường được cuốn bằng dây có kích thước lớn, ít vòng và cho dòng phụ tải trực tiếp chạy qua hoặc nối với thứ cấp của máy biến dòng điện.

- Nam châm điện B được gọi là cuộn áp, thường được cuốn bằng dây có kích thước nhỏ, rất nhiều vòng, đặt trực tiếp lên điện áp lưới hoặc nối

với thứ cấp của biến điện áp đo lường.

- Đĩa nhôm Đ được kẹp cứng trên trục quay, ngoài ra còn nam châm vĩnh cửu M, thanh dẫn từ G và hệ thống cơ cấu đếm.

4.1.3.2. Nguyên lý làm việc

Xét khi cuộn dòng có dòng điện xoay chiều i chạy qua sẽ xuất hiện từ thông ϕ_i xuyên qua đĩa nhôm hai lần, khi đặt điện áp xoay chiều u lên cuộn áp sẽ tạo ra dòng điện i_u chậm pha hơn so với điện áp một góc 90° . Dòng i_u sinh ra từ thông ϕ_u . Từ thông ϕ_u gồm hai thành phần:

- + ϕ_{up} chỉ khép mạch qua mạch từ cuộn áp gọi là từ thông phụ;
- + ϕ_{uc} xuyên qua đĩa nhôm gọi là từ thông làm việc.

ϕ_i và ϕ_{uc} sẽ cảm ứng trên đĩa nhôm những dòng điện xoáy. Theo nguyên lý của cơ cấu chỉ thị cảm ứng, đĩa nhôm sẽ chịu tác dụng của mômen quay được xác định:

$$M_q = Kf\phi_i\phi_{uc}\sin\psi$$

với ψ là góc lệch pha giữa hai từ thông ϕ_i và ϕ_{uc}

Ta coi mạch từ chưa bão hoà, nên từ thông ϕ_i tỷ lệ với I :

$$\phi_i = c_1 \cdot I$$

với $c_1 = \text{const}$.

Ta coi tần số là không đổi nên ϕ_{uc} tỷ lệ với U :

$$\phi_{uc} = c_2 \cdot U$$

với $c_2 = \text{const}$.

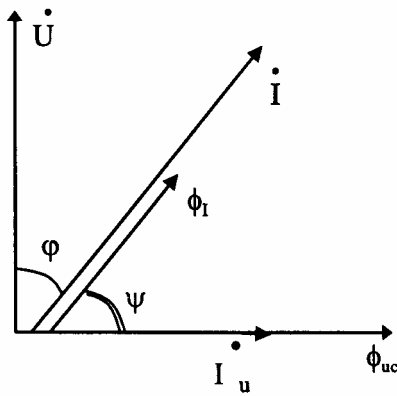
vậy mômen quay được tính:

$$M_q = Kfc_1c_2U\sin\psi = K_1U\sin\psi \text{ với } K_1 = Kfc_1c_2$$

Ta xét hai trường hợp:

* Trường hợp lý tưởng

Coi các từ thông trùng pha với dòng điện kích thích tương ứng, ta có đồ thị véc tơ như Hình 4.9.



Hình 4.9. Đồ thị véc tơ trường hợp lý tưởng

Từ đồ thị véc tơ ta thấy:

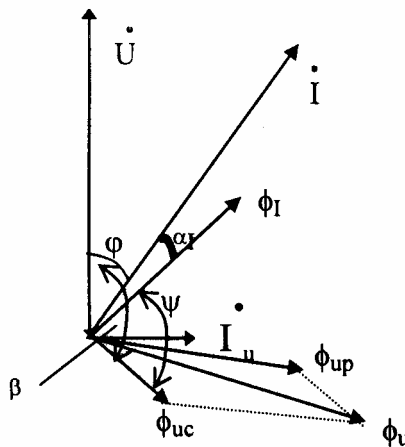
$$\varphi + \psi = \frac{\pi}{2} \text{ nên } \sin\psi = \cos\varphi$$

với φ là góc lệch pha giữa dòng điện và điện áp trên tải. Vậy:

$$M_q = K_1 U I \sin\psi = K_1 U I \cos\varphi = K_1 P.$$

*** Trường hợp thực tế**

Các từ thông này đều chậm pha hơn so với dòng điện kích thích tương ứng một góc nào đó (tuy khá nhỏ). Ta có đồ thị véc tơ như Hình 4.10



Hình 4.10. Đồ thị véc tơ trong trường hợp thực tế

Ta xét góc:

$$\beta = \varphi + \psi + \alpha_1$$

với α_1 là góc lệch pha giữa dòng điện và ϕ_1 và I. Vậy

$$\beta - \alpha_1 = \varphi + \psi.$$

Ta mong muốn:

$$\varphi + \psi = \frac{\pi}{2}.$$

Vậy:

$$\beta - \alpha_1 = \frac{\pi}{2} \text{ (xét khi hiệu chỉnh công tơ).}$$

Do vậy ta phải điều chỉnh góc ai sao cho thoả mãn điều kiện trên.

Khi có mômen quay đĩa nhôm sẽ gia tốc tới tốc độ rất lớn nếu không có gì cản lại, vì vậy người ta đặt nam châm vĩnh cửu M để tạo ra mômen hãm.

Khi đĩa nhôm quay cắt ngang từ trường của nam châm vĩnh cửu, trên đĩa nhôm xuất hiện những dòng điện xoáy, những dòng điện này lại tác dụng với chính từ trường của nam châm vĩnh cửu tạo ra mômen hãm:

$$M_h = K_2 \phi_M I_C = K_2 \phi_M \frac{E_c}{R_d} = K_3 \frac{d\alpha}{dt} \quad (4-23)$$

Đĩa nhôm quay ở tốc độ ổn định khi cân bằng hai mômen, do đó ta có:

$$K_1 P = K_3 \frac{d\alpha}{dt} \Rightarrow K_1 P dt = K_3 d\alpha.$$

Tích phân hai vế ta có:

$$\int_{t_1}^{t_2} K_1 P dt = \int_{\alpha_1}^{\alpha_2} K_3 d\alpha.$$

Vế trái của phương trình tỷ lệ với năng lượng mà phụ tải tiêu thụ qua công tơ trong khoảng thời gian từ t_1 đến t_2 còn vế phải tỷ lệ với lượng góc quay của đĩa nhôm cũng trong khoảng thời gian đó. Ta có:

$$K_1 W' = K_3 2\pi N$$

(N: số vòng quay của đĩa nhôm)

Vậy

$$W' = C_{dm}N \quad (4-24)$$

với C_{dm} là hệ số định mức của công tơ.

Kết luận: Như vậy ta đã chứng minh được rằng số vòng quay của đĩa nhôm tỷ lệ bậc nhất với năng lượng điện mà phụ tải tiêu thụ qua công tơ.

4.1.3.3. Cơ cấu đếm và các thông số cơ bản của công tơ

- Cơ cấu đếm: Gồm hệ thống bánh vít, trục vít, các con lăn và các bánh răng chỉ thị số.

- Thông số cơ bản của công tơ:

+ Hệ số truyền tải của công tơ

$$A = \frac{N}{W} \quad (4-25)$$

là lượng điện năng truyền tải qua công tơ khi đĩa nhôm quay hết một vòng.

+ Hệ số định mức của công tơ

$$C_{dm} = \frac{W}{N} \quad (4-26)$$

là số vòng quay của đĩa nhôm khi truyền tải qua công tơ 1 kWh điện.

4.1.3.4. Sai số và cách khắc phục

Do tồn tại của ma sát, do ảnh hưởng của từ thông phụ, do sai lệch hằng số của công tơ (mômen cản lớn hoặc nhỏ) do đó công tơ sai số ít nhiều.

Trước khi sử dụng bắt buộc phải hiệu chỉnh lại tức là tiền cách khắc phục sai số.

a) Bù ma sát

- Khi ở phụ tải nhỏ, mômen ma sát sẽ đáng kể so với mômen quay. Vì vậy người ta phải chế tạo bộ phận bù ma sát trên cơ sở nguyên lý chung là phân chia từ thông cuộn áp thành các từ thông phụ bằng các vít

chia từ thông hoặc vòng ngắn mạch không đối xứng (chưa thể hiện trên hình vẽ).

- Khi điều chỉnh vị trí vòng ngắn mạch không đối xứng hoặc vít chia từ thông ta sẽ bù được ma sát (tuy nhiên nếu điều chỉnh quá sang trái hoặc sang phải thì công tơ sẽ tự quay thuận hoặc quay ngược khi không có tải).

b) Chống hiện tượng tự quay của công tơ

Khắc phục hiện tượng tự quay khi mômen bù lớn hơn mômen ma sát người ta đã chế tạo bộ phận chống tự quay bằng cách trên mạch từ của cuộn áp và trên trục quay người ta gắn hai lá thép non T_1 và T_2 . Khi đĩa nhôm quay tới thời điểm hai lá thép đối diện nhau thì chúng sẽ tác động tương hỗ và tạo ra mômen hãm (tuy nhiên chỉ với mômen khá nhỏ).

c) Điều chỉnh góc lệch pha α_1 giữa ϕ_1 và I

Ta có:

$$\beta - \alpha_1 = \varphi + \psi.$$

Mong muốn rằng

$$\varphi + \psi = \frac{\pi}{2}.$$

Vậy phải điều chỉnh

$$\beta - \alpha_1 = \frac{\pi}{2},$$

coi β như không đổi đối với mỗi loại công tơ sau khi đã chế tạo. Vì vậy ta phải điều chỉnh góc α_1 bằng cách trên mạch từ của cuộn dòng người ta cuốn vài vòng dây nối qua một điện trở R có thể điều chỉnh được. Khi điều chỉnh giá trị R sẽ làm thay đổi tổn hao từ trong mạch từ cuộn dòng, tức là α_1 thay đổi.

d) Kiểm tra hằng số của công tơ

Ta điều chỉnh sao cho $\cos\varphi = 1$, cho dòng điện $I = I_n$, $U = U_n$ lúc đó ta có $P = U_n I_n$; đo thời gian quay của công tơ bằng đồng hồ bấm giây, đếm số vòng quay N của công tơ quay trong khoảng thời gian t .

Ta tính được hằng số của công tơ như sau:

$$C_p = \frac{N}{U_n I_{nt}} = \frac{N}{P_{nt}}. \quad (4-27)$$

Ta so sánh C_p với giá trị định mức ghi trên công tơ, nếu khác nhau ta phải điều chỉnh vị trí của nam châm vĩnh cửu để tăng hay giảm mômen cản cho đến khi C_p bằng giá trị định mức của công tơ. Thực tế hiện nay, việc hiệu chỉnh công tơ thường dựa vào công tơ mẫu.

4.2. Đo công suất và năng lượng trong mạch ba pha

4.2.1. Đo công suất tác dụng trong mạch ba pha đối xứng

Đối với mạch ba pha đối xứng ta có công suất tổng của cả mạch là:

- Theo đại lượng pha:

$$P_{3pha} = 3P_A + 3P_B + 3P_C = 3U_{\phi} I_{\phi} \cos\varphi \quad (4-28)$$

P_A, P_B, P_C là công suất ở từng pha A, B, C.

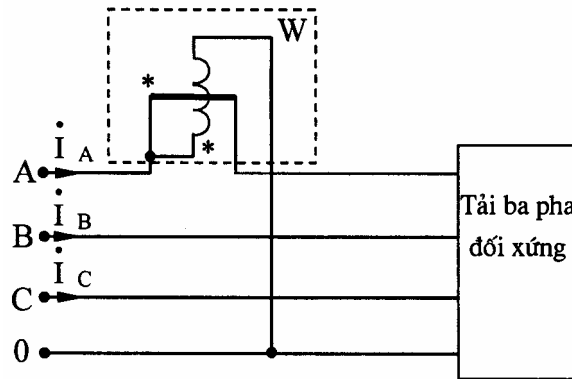
- Theo đại lượng dây:

$$P_{3pha} = \sqrt{3} U_d I_d \cos\varphi \quad (4-29)$$

U_d, I_d là điện áp và dòng điện dây.

4.2.1.1. Mạch ba pha bốn dây - Phương pháp một wattmet

Theo (4-28) ta chỉ cần đo công suất ở một pha bằng một wattmet rồi lấy chỉ số của wattmet đó nhân 3 ta sẽ được công suất của cả ba pha: Giả sử wattmet mắc vào pha A như sau:



Hình 4.11. Đo công suất bằng một wattmet

Số chỉ của wattmet là:

$$P_w = U_A I_A \cos\varphi_A = P_A$$

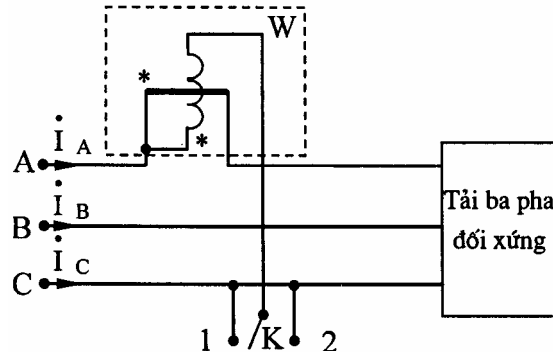
Do vậy công suất của ba pha là:

$$P_{3pha} = 3P_A = 3P_W$$

Tương tự có thể mắc wattmet vào pha B hoặc pha C.

4.2.1.2. Mạch ba pha ba dây - Phương pháp dùng khoá chuyển đổi

Sơ đồ mắc wattmet như sau:



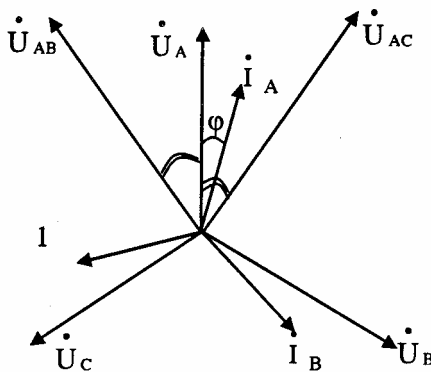
Cuộn dòng có dòng in khi khoá K ở vị trí 1 cuộn áp có điện áp U_{AC} ; khi khoá K ở vị trí 2 cuộn áp có điện áp U_{AB} .

Vậy khi đóng khoá K về phía 1, số chỉ của wattmet là:

$$P_{w1} = U_{AC} I_A \cos(\dot{U}_{AC}, \dot{I}_A)$$

Khi đóng khoá K về phía 2, số chỉ của wattmet là:

$$P_{w2} = U_{AB} I_A \cos(\dot{U}_{AB}, \dot{I}_A)$$



Hình 4.12. Đồ thị véc tơ của phương pháp đo công suất dùng khoá chuyển đổi

Theo đồ thị véc tơ ta có:

$$P_{w1} = U_d I_d \cos(30^\circ - \varphi)$$

$$P_{w2} = U_d I_d \cos(30^\circ + \varphi)$$

Từ đó:

$$\begin{aligned} P_{w1} + P_{w2} &= U_d I_d [\cos(30^\circ - \varphi) + \cos(30^\circ + \varphi)] \\ &= \sqrt{3} U_d I_d \cos \varphi = P_{3\text{pha}}. \end{aligned} \quad (4-30)$$

Tương tự ta cũng có thể mắc wattmet ở pha B hoặc C để đo công suất theo cách trên.

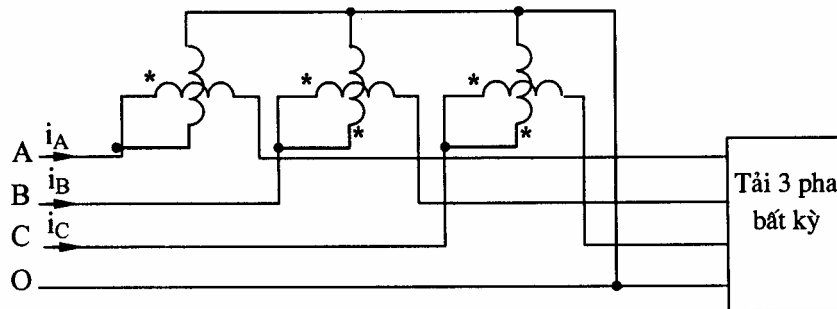
4.2.2. Đo công suất tác dụng trong mạch ba pha không đối xứng

4.2.2.1. Mạch ba pha bốn dây - phương pháp ba wattmet

Với mạch ba pha không đối xứng, ta có

$$\begin{aligned} P_{3\text{pha}} &= P_A + P_B + P_C \\ &= U_A I_A \cdot \cos(\dot{U}_A, \dot{I}_A) + U_B I_B \cdot \cos(\dot{U}_B, \dot{I}_B) + U_C I_C \cdot \cos(\dot{U}_C, \dot{I}_C). \end{aligned}$$

Do vậy ta dùng ba wattmet một pha hoặc một wattmet ba pha ba phần tử để đo công suất ở các pha A, B, C. Sau đó cộng đại số các số chỉ của ba wattmet (hoặc ba phần tử) ta được công suất của mạch ba pha.



Hình 4.13. Sơ đồ đo công suất tác dụng bằng ba wattmet

Ta có:

$$\begin{aligned} P_w &= P_{wA} + P_{wB} + P_{wC} \\ &= U_A I_A \cos \varphi_A + U_B I_B \cos \varphi_B + U_C I_C \cos \varphi_C \\ &= P_{3\text{pha}}. \end{aligned}$$

Trong thực tế người ta chế tạo wattmet ba pha ba phần tử. Nó gồm ba cặp cuộn dây tĩnh tương ứng có ba phần động gắn trên cùng một trục quay. Mômen làm quay phần động là tổng mômen của ba phần tử

$$M_q = K(U_A I_A \cos \varphi_A + U_B I_B \cos \varphi_B + U_C I_C \cos \varphi_C) = K P_{3\text{pha}} \quad (4-31)$$

4.2.2.2. Mạch ba pha ba dây Phương pháp dùng hai wattmet

Xét công suất tức thời trong mạch ba pha là:

$$P_{3\text{pha}} = u_A i_A + u_B i_B + u_C i_C.$$

Đối với mạch ba pha ba dây, vì không có dây trung tính nên dòng điện trung tính bằng không nghĩa là:

$$i_A + i_B + i_C = 0 \Rightarrow i_C = -(i_A + i_B).$$

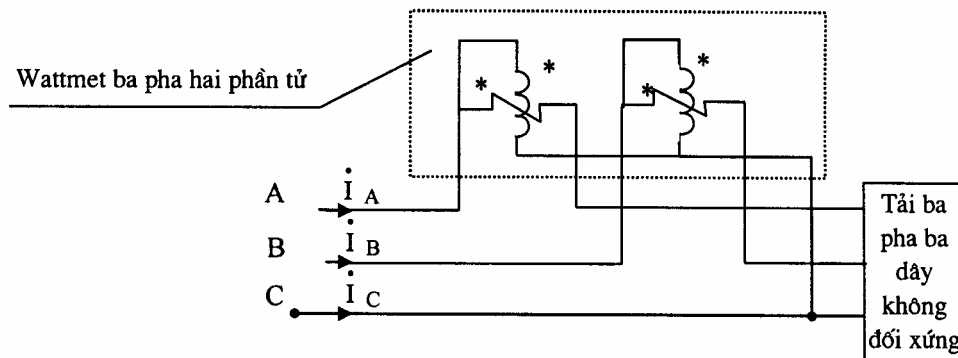
Vậy:

$$\begin{aligned} P_{3\text{pha}} &= u_A i_A + u_B i_B - u_C (i_A + i_B) \\ &= u_A i_A + u_B i_B - u_C i_A - u_C i_B \\ &= i_A (u_A - u_C) + i_B (u_B - u_C) \\ &= i_A u_{AC} + i_B u_{BC}. \end{aligned}$$

Vậy công suất tác dụng của ba pha là:

$$P_{3\text{pha}} = U_{AC} I_A \cos(\angle U_{AC}, I_A) + U_{BC} I_B \cos(\angle U_{BC}, I_B). \quad (4-32)$$

Như vậy ta có thể dùng hai wattmet một pha có sơ đồ như Hình 4.14 để đo công suất trong mạch ba pha. Thực tế cũng dựa trên nguyên tắc này người ta chế tạo wattmet ba pha hai phần tử. Cách mắc như sau:



Hình 4.14. Sơ đồ đo công suất tác dụng trong mạch ba pha ba dây

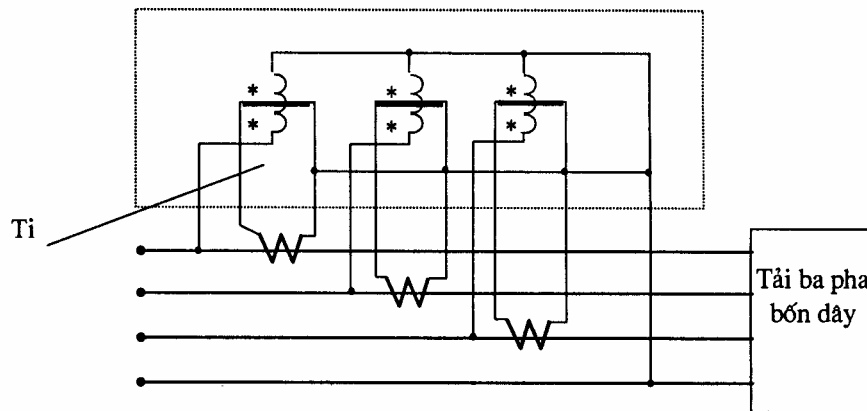
4.2.3. Đo năng lượng tác dụng trong mạch ba pha

- Đối với mạch ba pha bốn dây có thể dùng công tơ ba pha ba phần tử hoặc ba công tơ một pha. Sơ đồ mắc giống như mắc wattmet đo công suất tác dụng.

- Đối với mạch ba pha ba dây có thể dùng công tơ ba pha hai phần tử hoặc hai công tơ một pha. Sơ đồ mắc giống như mắc wattmet đo công suất tác dụng.

- Với mạch hạ áp công suất lớn ta kết hợp giữa biến dòng điện và công tơ ba pha để đo năng lượng tác dụng.

Ví dụ 4.1: Sơ đồ kết hợp giữa B_I và công tơ đo năng lượng tác dụng phía hạ thế.



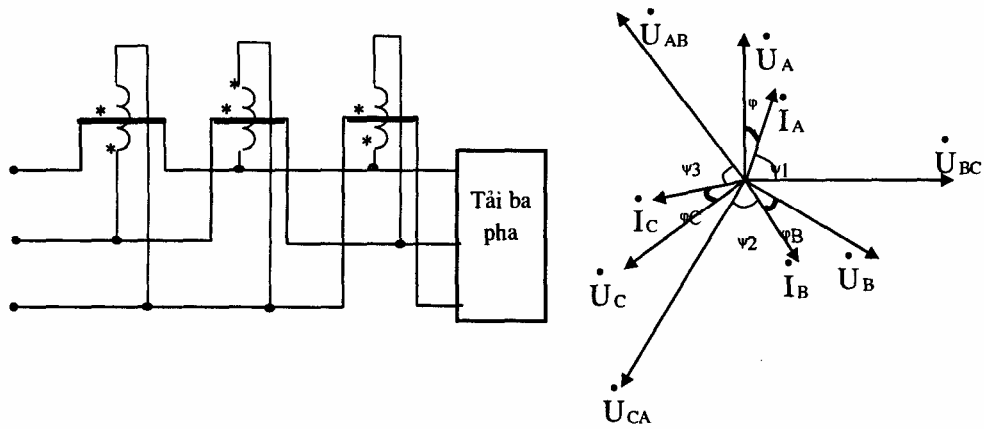
Hình 4.15. Sơ đồ kết hợp giữa B_I và công tơ ba pha đo năng lượng tác dụng

- Với mạch cao áp, ta kết hợp giữa B_U , B_I và công tơ ba pha để đo năng lượng tác dụng

4.2.4. Đo năng lượng phản kháng trong mạch ba pha

4.2.4.1. Dùng công tơ phản kháng ba pha ba phần tử

Sơ đồ mắc công tơ như sau:



Hình 4.16. Sơ đồ đấu dây và đồ thị véc tơ của công tơ phản kháng ba pha ba phần tử

Điểm đo đếm thường là đầu nguồn nên ta coi mạch ba pha có nguồn đối xứng, phụ tải mang tính chất cảm.

Ta có mômen quay tổng của công tơ là:

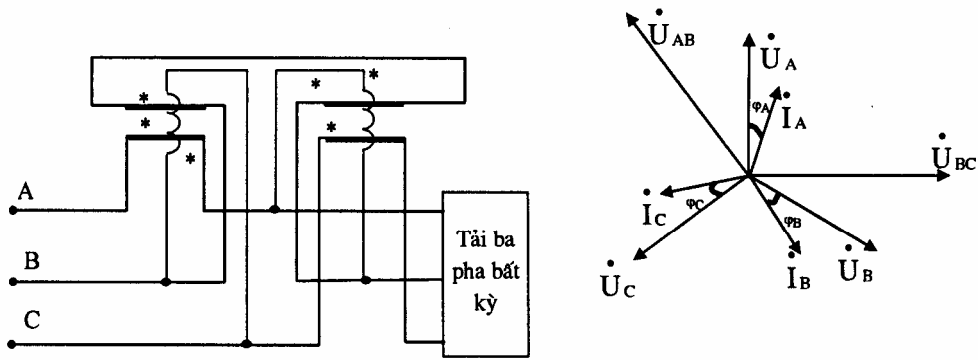
$$\begin{aligned}
 M_q &= K(I_A U_{BC} \cos \psi_1 + I_B U_{CA} \cos \psi_2 + I_C U_{AB} \cos \psi_3) \\
 &= K\sqrt{3} [I_A U_A \cos(90^\circ - \varphi_A) + I_B U_B \cos(90^\circ - \varphi_B) + I_C U_C \cos(90^\circ - \varphi_C)] \\
 &= K\sqrt{3} (I_A U_A \sin \varphi_A + I_B U_B \sin \varphi_B + I_C U_C \sin \varphi_C) \\
 &= K\sqrt{3} Q_{3\text{pha}}.
 \end{aligned} \tag{4-33}$$

Ta thấy mômen quay tỷ lệ với công suất phản kháng trong mạch ba pha cho nên số chỉ của công tơ sẽ tỷ lệ với năng lượng phản kháng tiêu thụ trong mạch ba pha.

4.2.4.2. Dụng công tơ phản kháng ba pha hai phần tử có cuộn dây nối tiếp phụ

Sơ đồ mắc như Hình 4.17.

Điểm đo đếm là đầu nguồn nên ta coi mạch ba pha có nguồn đối xứng, phụ tải mang tính chất cảm. Xét từng phần tử, ta tính được mômen quay như sau:



Hình 4.17. Sơ đồ đo công suất phản kháng bằng công tơ ba pha hai phần tử có cuộn dây nối tiếp phụ

$$M_{q1} = KU_{BC} [I_A \cos(\dot{I}_A, \dot{U}_{BC}) - I_B \cos(\dot{I}_B, \dot{U}_{BC})]$$

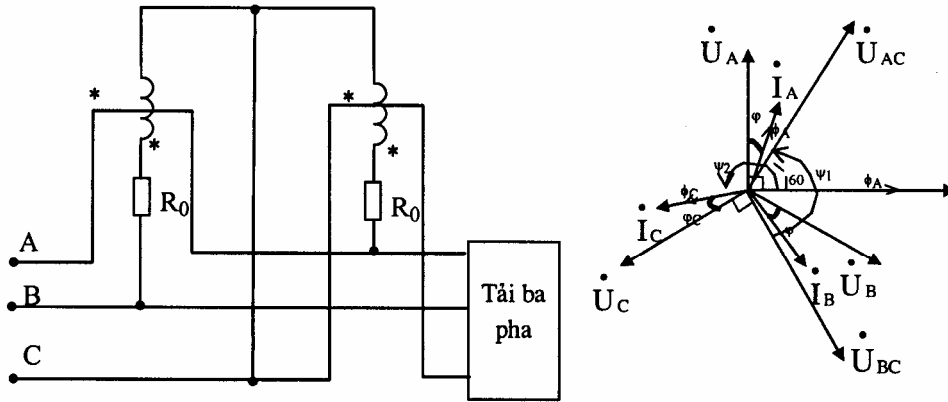
$$M_{q2} = KU_{AB} [I_C \cos(\dot{I}_C, \dot{U}_{AB}) - I_B \cos(\dot{I}_B, \dot{U}_{AB})]$$

$$M_q = M_{q1} + M_{q2}$$

$$\begin{aligned} M_q &= KU_d [I_A \cos(\dot{I}_A, \dot{U}_{BC}) - I_B \cos(\dot{I}_B, \dot{U}_{BC}) \\ &\quad + I_C \cos(\dot{I}_C, \dot{U}_{AB}) - I_B \cos(\dot{I}_B, \dot{U}_{AB})] \\ &= KU_d [I_A \cos(90^\circ - \varphi_A) - I_B \cos(30^\circ + \varphi_B) \\ &\quad + I_C \cos(90^\circ - \varphi_C) - I_B \cos(150^\circ - \varphi_B)] \\ &= KU_d [I_A \sin \varphi_A - I_B \frac{\sqrt{3}}{2} \cos \varphi_B + \frac{1}{2} I_B \sin \varphi_B \\ &\quad + I_C \sin \varphi_C + I_B \frac{\sqrt{3}}{2} \cos \varphi_B + \frac{1}{2} I_B \sin \varphi_B] \\ &= K \sqrt{3} (I_A U_A \sin \varphi_A + I_B U_B \sin \varphi_A + I_C U_C \sin \varphi_C) \\ &= K \sqrt{3} Q_{3\text{pha}} \end{aligned} \tag{4-34}$$

Mômen quay tỷ lệ với công suất phản kháng trong mạch ba pha vậy số chỉ của công tơ tỷ lệ với năng lượng phản kháng trong mạch ba pha.

4.2.4.3. Dùng công tơ phản kháng ba pha hai phần tử có R_0 tạo góc lệch pha 60°



Hình 4.18. Sơ đồ dùng công tơ phản kháng hai phần tử có mắc thêm R_0 tạo góc lệch pha 60°

Trong sơ đồ công tơ này, các cuộn áp được mắc nối tiếp với điện trở mẫu R_0 . Điện trở này được tính toán sao cho dòng điện trong cuộn áp chỉ chậm pha so với điện áp tương ứng một góc 60° . Ta có đồ thị véc tơ như hình vẽ

Ta có mô men quay của các phần tử là:

$$M_{q1} = K\phi_A\phi_{BC}\sin\psi_1; \text{ với } \psi_1 = 150^\circ - \varphi$$

$$M_{q1} = K\phi_C\phi_{AC}\sin(150^\circ - \varphi).$$

Hơn nữa ta có:

$$\phi_A = C_1 I_A$$

$$\phi_{BC} = C_2 U_{BC}.$$

Thay vào ta có:

$$M_{q1} = K_1 I_A U_{BC} \sin(150^\circ - \varphi).$$

Tương tự

$$M_{q2} = K\phi_C\phi_{AC}\sin\psi_2 = K\phi_C\phi_{AC}\sin(210^\circ - \varphi)$$

$$\phi_C = C_1 I_C$$

$$\phi_{AC} = C_2 U_{AC}$$

$$M_{q2} = K_1 I_C U_{AC} \sin(210^\circ - \varphi).$$

Vậy mô men quay tổng là:

$$M_q = M_{q1} + M_{q2}$$

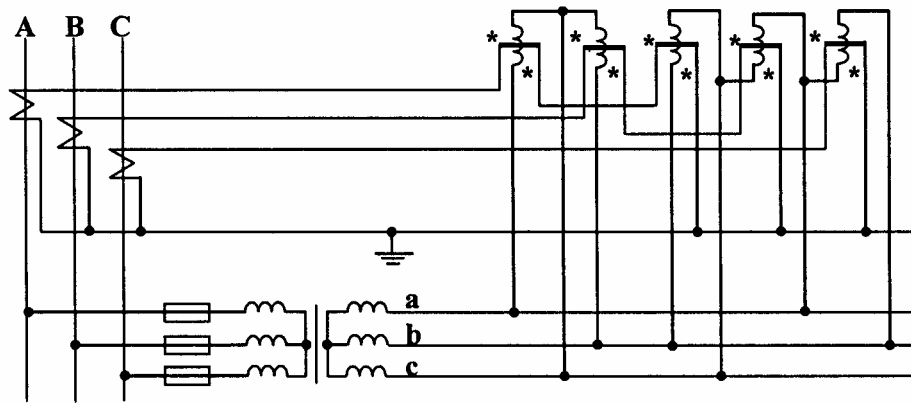
$$M_q = K_1 U_d I_d [\sin(150^\circ - \varphi) + \sin(210^\circ - \varphi)]$$

$$= K_1 \sqrt{3} U_d I_d \sin\varphi = K_1 Q_{3\text{pha}} \quad (4-35)$$

Vậy: Mô men quay tổng tỉ lệ với công suất phản kháng trong mạch ba pha nên sơ đồ này thường được dùng để đo năng lượng phản kháng trong mạch ba pha. Nếu với mạch ba pha không đối xứng thì có sai số nhất định.

4.2.5. Ví dụ sơ đồ đo đếm cao thế

Thực tế có rất nhiều sơ đồ đo đếm cao thế: Tức là sơ đồ kết hợp B_U , B_I và công tơ ba pha đo năng lượng tác dụng và phản kháng cho mạch ba pha cao thế.



- + Công tơ tác dụng ba pha hai phần tử có cuộn dòng ở các pha A, B.
- + Công tơ phản kháng ba pha ba phần tử.
- + Các cuộn dòng của công tơ tác dụng và phản kháng đều nối ở phía thứ cấp của máy biến dòng, vậy dòng định mức qua các cuộn dòng là 5A.
- + Các cuộn áp của công tơ tác dụng và phản kháng đều nối ở phía thứ cấp của biến điện áp, vậy điện áp định mức trên các cuộn áp là 100V

Chương 5

ĐO GÓC PHA VÀ TẦN SỐ

5.1. Đo góc pha và hệ số công suất $\cos\varphi$

5.1.1. Phương pháp đo $\cos\varphi$ gián tiếp

5.1.1.1. Phương pháp $V - A - W$

Hệ số công suất $\cos\varphi$ quan hệ với dòng điện và điện áp trong mạch qua công thức:

$$P = UI\cos\varphi.$$

Do đó:

$$\cos\varphi = \frac{P}{UI} \quad (5-1)$$

Vậy dùng các đồng hồ V , A , W đo U , I , P trên tải ta tính được $\cos\varphi$.

Sai số:

$$|\gamma_{\cos\varphi}| = |\gamma_P| + |\gamma_U| + |\gamma_I|.$$

5.1.1.2. Phương pháp xác định $\cos\varphi_{TB}$

Ta có:

$$\cos\varphi_{TB} = \frac{P}{\sqrt{P^2 + Q^2}} = \frac{W_{td}}{\sqrt{W_{td}^2 + W_{pk}^2}} \quad (5-2)$$

Với W_{pk} là điện năng phản kháng chỉ bởi công tơ phản kháng trong khoảng thời gian xét;

W_{td} là điện năng tác dụng chỉ bởi công tơ tác dụng trong khoảng thời gian xét.

Dùng công tơ đo năng lượng tác dụng và phản kháng trong một khoảng thời gian nào đó (thường là một tháng) ta xác định được $\cos\varphi_{TB}$ của phụ tải theo công thức (5.2).

5.1.2. Phương pháp đo $\cos\varphi$ trực tiếp

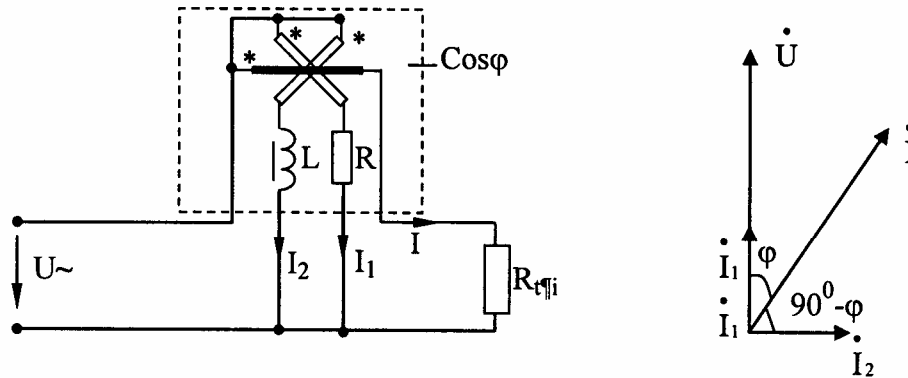
Thường dùng $\cos\varphi$ met điện động và sắt điện động.

5.1.2.1. Cosφ met điện động một pha

Người ta sử dụng cơ cấu chỉ thị logomet điện động để chế tạo dụng cụ đo cosφ trong mạch một pha.

Cuộn tĩnh của cosφ điện động được mắc nối tiếp với mạch cần đo cosφ (hoặc nối với thứ cấp của máy biến dòng), hai cuộn dây động được mắc nối tiếp với R, L và được đặt lên điện áp trên tải (hoặc nối với thứ cấp của biến điện áp đo lường).

Vì cơ cấu không có mạch từ nên việc nối các cuộn dây động như vậy sẽ tạo nên các dòng i_1 và i_2 là vuông pha với nhau. Ta có sơ đồ đấu dây và đồ thị véc tơ như Hình 5.1.



Hình 5.1. Sơ đồ mắc cosφ điện động và đồ thị dòng điện

Dòng I_1 trùng pha với điện áp U, dòng I_2 vuông pha với điện áp U

Theo công thức của cơ cấu logomet điện động ta có:

$$\alpha = f\left(\frac{I_2 \cos \psi_2}{I_1 \cos \psi_1}\right)$$

với góc:

$$\psi_1 = (\dot{I}, \dot{I}_1) = \varphi, \psi_2 = (\dot{I}, \dot{I}_2) = 90^\circ - \varphi.$$

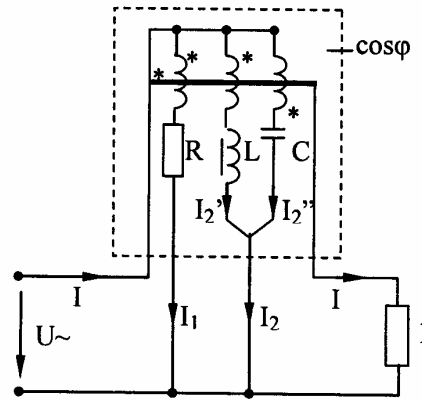
Vậy

$$\alpha = f\left(\frac{I_2 \sin \varphi}{I_1 \cos \varphi}\right) = f\left(\frac{I_2}{I_1} \operatorname{tg} \varphi\right) = f'(\cos \varphi). \quad (5-3)$$

Chú ý: Trên thực tế khi tần số thay đổi dẫn tới ωL thay đổi vậy I_2

thay đổi do đó tỷ số $\frac{I_2}{I_1}$ khác hằng số nên sẽ có sai số. Để khắc phục, nhà sản xuất cải tiến sơ đồ như sau (xem Hình 5.2):

Cuộn dây động được chia làm hai nhánh 2' và 2''. Hai nhánh này mắc ngược cực tính nhau, một nhánh nối với L, một nhánh nối với C. Ta thấy các dòng i_2' và i_2'' ngược pha nhau, mặt khác hai cuộn dây lại mắc ngược cực tính nên sẽ tạo ra mô men của cuộn dây động thứ hai là tổng của hai mô men cùng dấu: $M_2 = M_2' + M_2''$. Vì vậy khi tần số thay đổi làm X_L, X_C thay đổi ngược nhau hay I_2' và I_2'' thay đổi ngược nhau. Vậy $M_2 = \text{const}$. Tức là nhánh này không phụ thuộc tần số

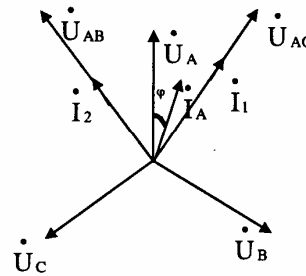
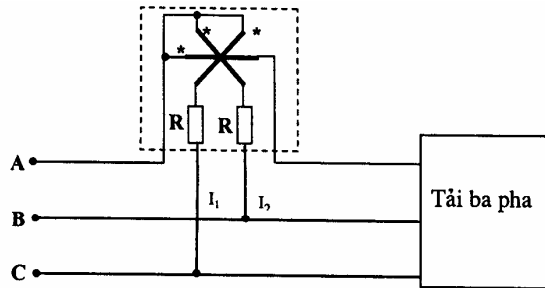


Hình 5.2. Sơ đồ $\cos\phi$ met điện động cải tiến

5.1.2.2. $\cos\phi$ met điện động ba pha

Sơ đồ mắc như Hình 5.3.

Cuộn tĩnh được mắc nối tiếp vào pha A, hai cuộn dây động được mắc với hai điện trở R và được đặt vào các điện áp U_{AB} và U_{AC} .



Hình 5.3. Sơ đồ mắc $\cos\phi$ met điện động ba pha và đồ thị véc tơ

Góc quay của cơ cấu là:

$$\alpha = f \left(\frac{I_2 \cos \left(\dot{I}_2, \dot{I}_A \right)}{I_1 \cos \left(\dot{I}_1, \dot{I}_A \right)} \right)$$

$$= f \left(\frac{I_2 \cos (30^\circ + \varphi)}{I_1 \cos (30^\circ - \varphi)} \right) = f'(\cos \varphi). \quad (5-4)$$

Chú ý:

+ Trong sơ đồ này, các cuộn áp đều nối tiếp với điện trở R nên không phụ thuộc tần số, hay $\frac{I_2}{I_1} = \text{const.}$

+ Cuộn dòng có thể mắc vào các pha B, C tùy ý.

5.1.3. Phazomet điện tử

5.1.3.1. Cơ sở lý thuyết

Xét hai điện áp cùng biên độ, tần số nhưng lệch pha nhau một góc φ :

$$u_1 = U_{\max} \sin(\omega t)$$

$$u_2 = U_{\max} \sin(\omega t - \varphi)$$

Vậy

$$\Delta u = u_1 - u_2$$

$$= U_{\max} [\sin(\omega t) - \sin(\omega t - \varphi)]$$

$$= 2U_{\max} \cos\left(\omega t - \frac{\varphi}{2}\right) \sin \frac{\varphi}{2}.$$

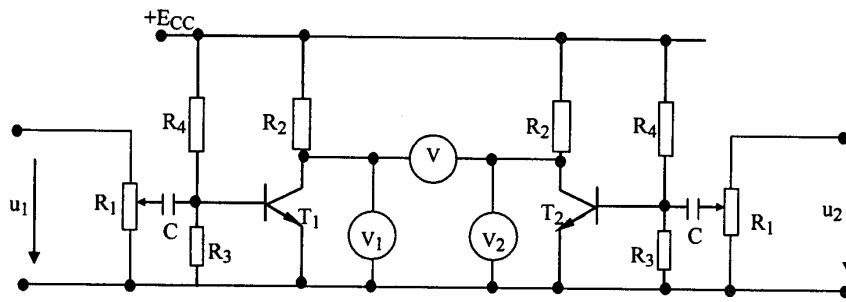
Ta xét trị hiệu dụng của Δu :

$$\Delta U = 2U \sin \frac{\varphi}{2} \Rightarrow \varphi = 2 \arcsin \frac{\Delta U}{2U}. \quad (5-5)$$

Vì vậy biết U, đo ΔU ta xác định được góc φ .

5.1.3.2. Phazomet điện tử

Ta đưa ra sơ đồ đơn giản của phazomet điện tử như sau:

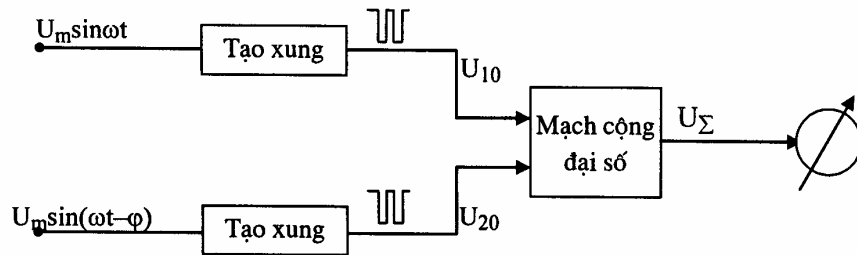


Hình 5.4. Sơ đồ phazomet điện tử

Hai tín hiệu điện áp cần so sánh góc pha được đưa vào hai đầu của hai mạch khuếch đại qua hai biến trở R_1 và R_2 . Khi đo, ta điều chỉnh các vị trí con trượt trên các biến trở R_1 và R_2 sao cho điện áp đầu ra của hai mạch khuếch đại là bằng nhau, và được kiểm tra bằng các volmet V_1 V_2 .

Sau khi kiểm tra $U_{V1} = U_{V2} = U$, ta đo ΔU bằng volmet V rồi suy ra góc φ theo (5.5).

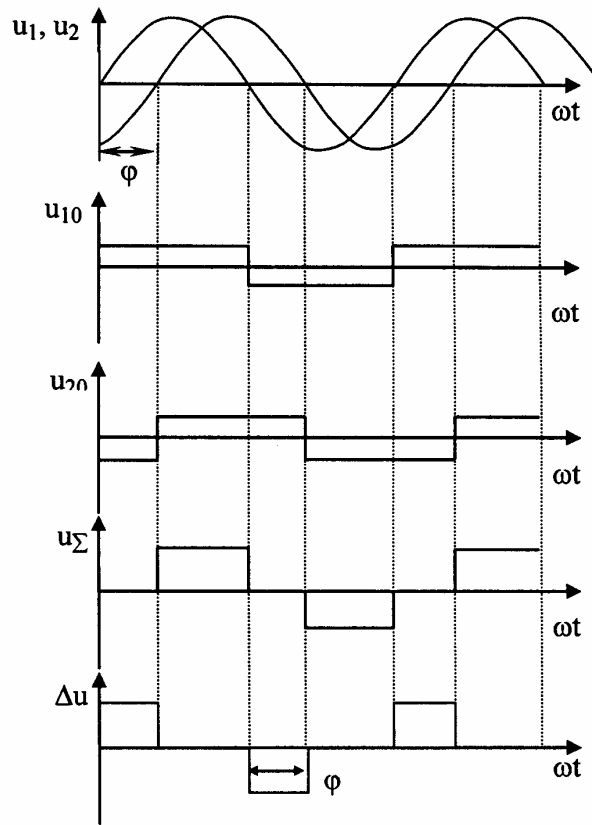
Để tránh phải so sánh hai điện áp u_1 và u_2 người ta thường biến chúng thành những xung vuông sau đó đưa vào bộ cộng đại số điện áp hay dòng điện như Hình 5.5. Giảm đồ thời gian như Hình 5.6.



Hình 5.5. Sơ đồ nguyên lý đo góc pha bằng cách cộng trừ hai điện áp

Tùy theo góc lệch pha giữa hai tín hiệu, điện áp hay dòng điện ra từ mạch cộng thay đổi. Điện áp này được đo bằng dụng cụ đo chỉnh lưu

$$U_b = \frac{U_\varphi}{2\pi}. \quad (5-6)$$



Hình 5.6. Giản đồ thời gian điện áp

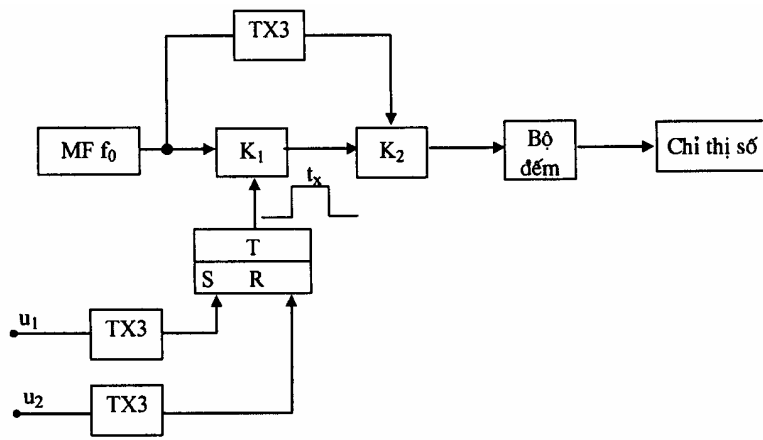
Dựa trên nguyên tắc này nhiều hãng trên thế giới đã chế tạo dụng cụ đo góc lệch pha trong khoảng từ $(0 \div 180^\circ)$ với sai lệch nhỏ hơn 1%.

5.1.4. Phazomet chỉ thị số

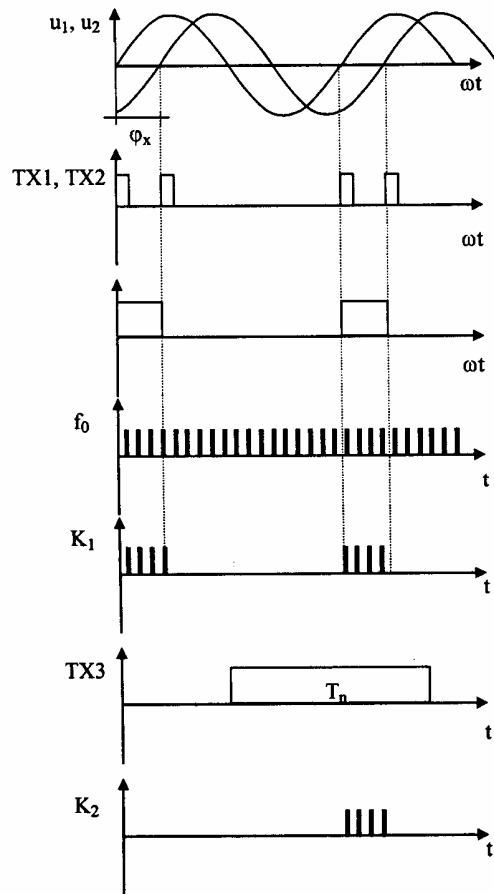
Dựa trên nguyên tắc biến đổi góc lệch pha thành mã, có nghĩa là góc lệch pha cần đo giữa hai tín hiệu được biến thành khoảng thời gian, sau đó lấp đầy khoảng thời gian bằng các xung với tần số biết trước.

Cấu trúc bao gồm: bộ biến đổi góc pha thành khoảng thời gian, bộ tạo xung TX1, TX2, TX3, bộ đếm, chỉ thị số, máy phát xung chuẩn, khoá K_1, K_2

Sơ đồ cấu trúc như sau:



Hình 5.7. Sơ đồ cấu trúc của phazomet chỉ thị số



Hình 5.8. Biểu đồ thời gian của phazomet chỉ thị số

Các tín hiệu u_1, u_2 có dạng hình sin cùng biên độ, tần số được đưa vào bộ tạo xung TX1, TX2. Các xung xuất hiện khi tín hiệu đi qua mức "0", các xung này sẽ được đưa đến các đầu vào của trigơ tạo ra ở đầu ra một xung mà độ dài của nó tỷ lệ với góc lệch pha cần đo ϕ_x . Khoá K được mở trong khoảng thời gian t_x . Từ máy phát xung chuẩn f_0 có tần số ổn định (hay $T_0 = 1/f_0$) được đưa qua K_1 khi K_1 mở trong khoảng thời gian t_x . Mặt khác bộ tạo xung TX3 phát ra xung có độ dài cố định là T_n và khoá K_2 được mở trong khoảng thời gian đó. Vậy các xung từ các khoảng thời gian T_n sẽ đi qua K_2 vào bộ đếm và chỉ thị số.

Số xung đếm được là:

$$N = \frac{T_n T_x}{T_x T_0} = \frac{KT_0}{T_x} \frac{T_x}{360^\circ T_0} \varphi_x = \frac{1}{360^\circ} \varphi_x \quad (5-7)$$

với $T_n = KT_0$.

Vậy số xung N tỷ lệ với góc lệch pha φ_x

Nhược điểm :

- Nếu tần số nhỏ, vì T_x chứa trong khoảng T_n nhỏ, do vậy ta phải mở rộng T_n .

- Nếu tần số lớn, dẫn đến sai số lượng tử hoá trong khoảng T_x tăng lên, dẫn đến sai số tăng.

Thông thường làm việc trong khoảng một vài Hz đến vài MHz, có sai số $\gamma = 0,1 \div 0,2\%$.

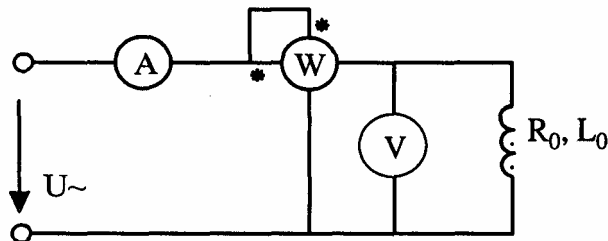
5.2. Đo tần số

5.2.1. Phương pháp gián tiếp

Dùng volmet, ampermet, wattmet kết hợp với điện cảm mẫu, ta có thể xác định được tần số:

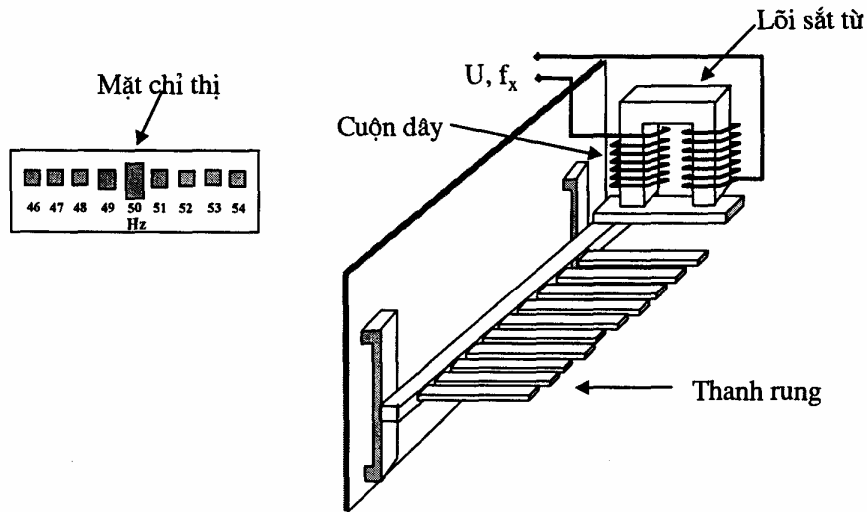
$$f = \frac{1}{2\pi L_0} \sqrt{\left(\frac{U_V}{I_A}\right)^2 - \left(\frac{P_W}{I_A^2}\right)^2} \quad (5-8)$$

Biết L_0 , căn cứ vào số chỉ của các đồng hồ đo, ta xác định được tần số.



Hình 5.9. Đo tần số bằng phương pháp gián tiếp

5.2.2. Tần số met cộng hưởng



Hình 5.10. Tần số met cộng hưởng

Nguyên lý hoạt động:

Tần số met cộng hưởng gồm một nam châm điện, tạo ra bởi cuộn dây điện quấn trên lõi sắt từ hình chữ U, một miếng thép nằm trong từ trường của nam châm điện, gắn chặt vào thanh là các lá thép rung có tần số dao động riêng khác nhau. Tần số dao động riêng của hai lá thép kề nhau hơn kém nhau là 0,25 hoặc 0,5Hz. Điện áp của tín hiệu cần đo tần số sẽ được đưa vào cuộn dây của nam châm điện sẽ tạo ra sự dao động của tất cả các lá thép. Tuy nhiên lá thép nào có tần số dao động riêng bằng tần số f thì sẽ dao động cực đại do cộng hưởng riêng, còn các thanh khác không cộng hưởng thì không dao động cực đại. Như vậy chúng ta sẽ đọc kết quả tại trị số tương ứng với thanh rung cực đại.

5.2.3. Tần số met điện tử

5.2.3.1. Nguyên tắc chung

Tần số met loại này dựa trên nguyên tắc chung là sử dụng phương pháp đếm xung đơn giản bằng cách phóng nạp một tụ điện C từ một nguồn điện áp không đổi U_0 nào đó.

Tín hiệu cần đo có tần số f_x được đưa vào không chế một khoá điện tử

K, khoá này được thiết kế sao cho trong một chu kỳ của điện áp u_k , khoá K đóng từ 1 sang 2 một lần.

Xét khi khoá K ở vị trí 1, điện tích nạp vào tụ tính như sau:

$$q = C.U_0$$

Điện tích nạp vào tụ trong thời gian một giây là:

$$Q = q.f_x = C.U_0.f_x.$$

Điện tích này chạy qua chỉ thị khi khoá K ở vị trí 2 tạo ra dòng điện trung bình

$$I_{TB} = K.Q = K.C.U_0.f_x = K_1 f_x$$

($K_1 = \text{const}$)

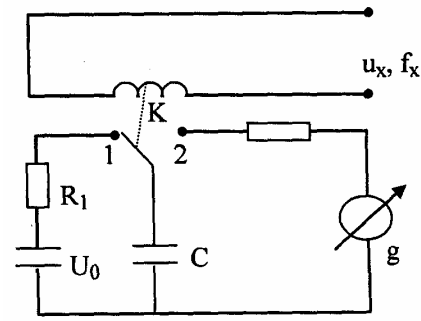
I_{TB} được chỉ bằng cơ cấu từ điện G. Thang chia độ được khắc trực tiếp theo đơn vị tần số và ta có thể đọc ngay tần số trên chỉ thị G. Muốn mở rộng giới hạn đo, ta thay đổi giá trị của tụ C.

5.2.3.2. Tần số met điện tử

Tần số met điện tử được thiết kế như Hình 5.12. Khoá đổi nối K thực hiện bằng một đèn bán dẫn T. Điện áp u_x cần đo tần số được đưa vào cực gốc của T.

Ở nửa chu kỳ âm của điện áp U_x (so với cực gốc của T), đèn T khoá, tụ C được nạp từ nguồn U_0 qua D_1 , qua chỉ thị g cho tới khi $U_c = U_0$.

Ở nửa chu kỳ dương của điện áp U_x đèn T mở, tụ C phóng qua đèn, qua D_2 cho tới khi $U_c = U_B$.



Hình 5.11. Nguyên lý của tần số met điện tử

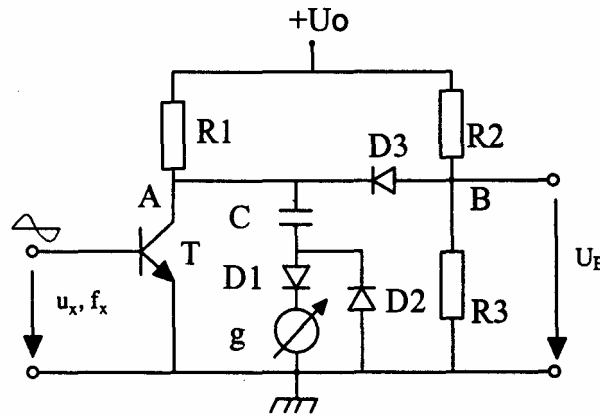
Điện tích mà tụ điện nạp trong một lần đóng mở của T là:

$$q = C(U_0 - U_B).$$

Lượng điện tích phóng nạp trong thời gian một giây chính là dòng điện đi qua chỉ thị

$$I = f_x C(U_0 - U_B) = k.f_x.$$

Vậy dòng điện trung bình chạy qua chỉ thị tỷ lệ bậc nhất với f_x . Ta có thể khắc vạch thang chia độ theo đơn vị tần số.



Hình 5.12. Tần số met điện tử

5.2.4. Tần số kế chỉ thị số

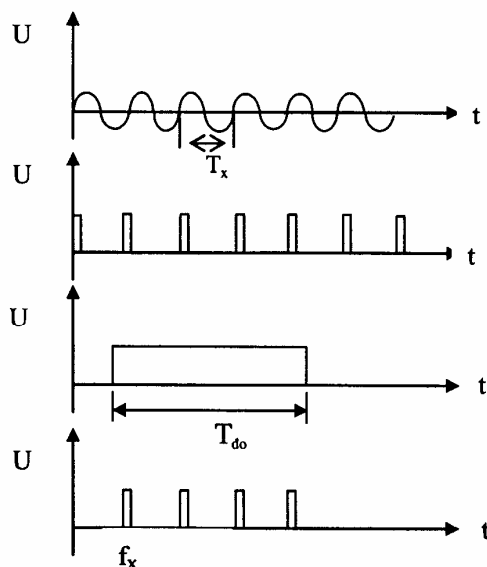
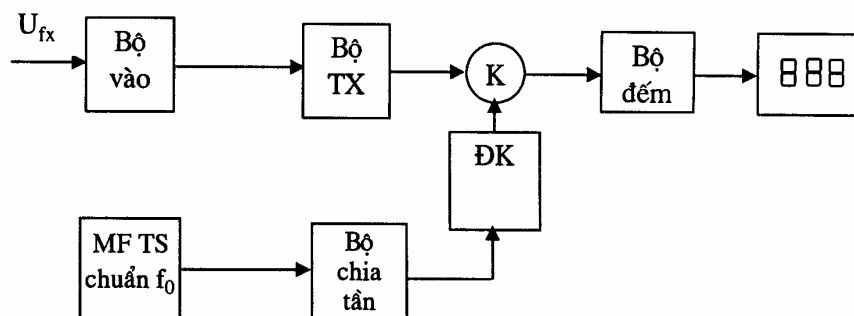
Nguyên lý: Đếm số xung N tương ứng với số chu kỳ của tần số cần đo f_x trong khoảng thời gian gọi là thời gian đo $T_{đo}$.

Trong khoảng $T_{đo}$ ta đếm được N xung tỉ lệ với tần số đo f_x . Sơ đồ khối của một tần số kế chỉ thị số như sau:

Mạch tạo xung có nhiệm vụ biến tín hiệu hình sin hoặc tín hiệu xung có chu kỳ thành một dãy xung có biên độ không đổi (không phụ thuộc vào biên độ của tín hiệu vào) nhưng tần số bằng tần số của tín hiệu vào.

Máy phát xung chuẩn $f_0 = 1\text{MHz}$.

Bộ chia tần số với các nấc có hệ số chia là 10^n . Tần số chuẩn $f_0 = 1\text{MHz}$ được chia đến 0,01 Hz. Nghĩa là ở đầu ra của mạch điều khiển theo 10^n ($n = 1, 2, \dots, 8$) ta có thể nhận được khoảng thời gian $T_{đo} = 10^{-6}, 10^{-5}, 10^{-4}, 10^{-3}, 10^{-2}, 10^{-1}, 1, 10, 100\text{s}$.



Hình 5.13. Tần số kế chỉ thị số

Khoảng thời gian này sẽ điều khiển để mở khoá K (khoá có hai đầu vào). Tín hiệu f_x theo đầu vào thứ hai sẽ đi vào bộ đếm ra cơ cấu chỉ thị.

Số xung mà máy đếm đếm được sẽ là:

$$N = \frac{T_{do}}{T_x} = \frac{K \cdot T_0}{T_x} = K \cdot \frac{f_x}{f_0}$$

Nếu thời gian đo có giá trị là 1s thì số xung N (tức là số các chu kỳ) sẽ chính là tần số cần đo f_x nghĩa là: $f_x = N$.

Mạch điều khiển phụ trách việc điều khiển quá trình đo: Bảo đảm thời gian biểu thị kết quả đo cỡ từ 0,3 ÷ 5s trên chỉ thị số, xoá kết quả đo

đưa về trạng thái 0 ban đầu trước mỗi lần đo; điều khiển chế độ làm việc; tự động, bằng tay, hay khởi động bên ngoài; chọn dải đo tần số (cho ra xung mở khoá K) và cho ra xung điều khiển máy và số. Sai số của phép đo tần số:

$$\gamma_{fx} = \frac{\Delta f_x}{f_x} = \frac{1}{f_x T_{do}} + \gamma_{f0}$$

với

$$\gamma_{f0} = \frac{\Delta f_0}{f_0} = \frac{\Delta T_{do}}{T_{do}}$$

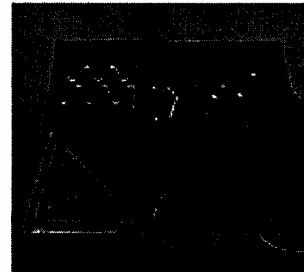
f_x là tần số cần đo (Hz)

Ta thấy rằng sai số của phép đo tần số tỉ lệ nghịch với độ lớn của tần số đo.

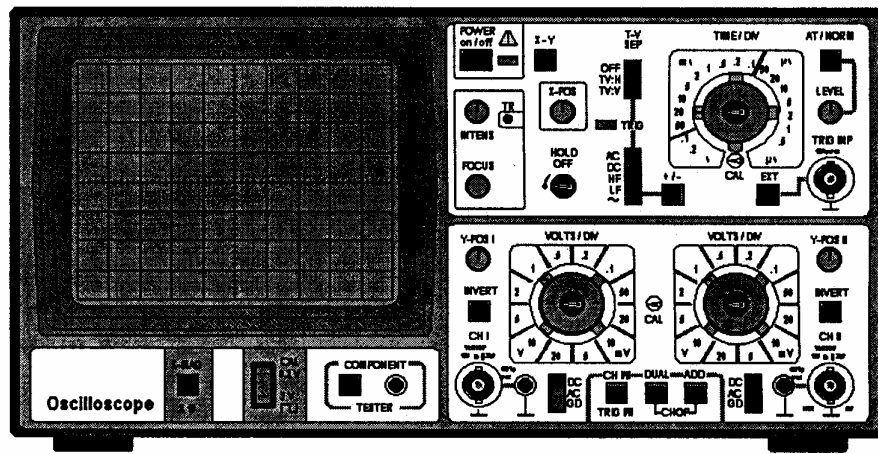
5.3. Ứng dụng máy hiện sóng điện tử trong đo lường

5.3.1. Mở đầu

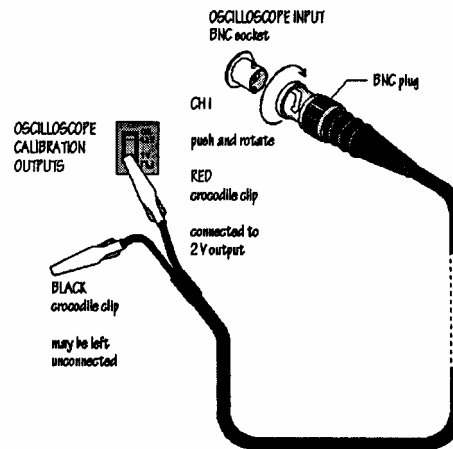
Máy hiện sóng điện tử hay còn gọi là dao động ký điện tử (electronic oscilloscope) là một dụng cụ hiển thị dạng sóng rất thông dụng. Nó chủ yếu được sử dụng để vẽ dạng của tín hiệu điện thay đổi theo thời gian. Bằng cách sử dụng máy hiện sóng ta xác định được:



- + Giá trị điện áp và thời gian tương ứng của 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 thế 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...

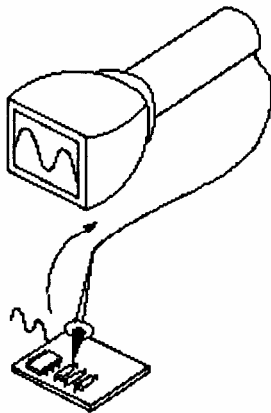
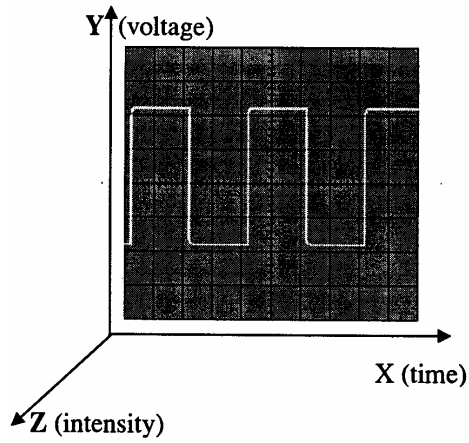


Màn hình của máy hiện sóng được chia ô, 10 ô theo chiều ngang và 8 ô theo chiều đứng. ở chế độ hiển thị thông thường, máy hiện sóng hiện dạng sóng biến đổi theo thời gian: trục đứng Y là trục điện áp, trục ngang X là trục thời gian. Độ chói hay độ sáng của màn hình đôi khi còn gọi là trục Z.

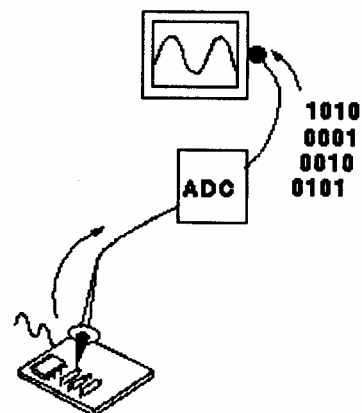
Máy hiện sóng có thể được dùng ở rất nhiều lĩnh vực khác nhau chứ không đơn thuần chỉ trong lĩnh vực điện tử. Với một bộ chuyển đổi hợp lý ta có thể đo được thông số của hầu hết tất cả các hiện tượng vật lý. Bộ

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 hai 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 màn 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 dạng số để tái tạo lại dạng sóng trên màn hình.



Analog Oscilloscopes

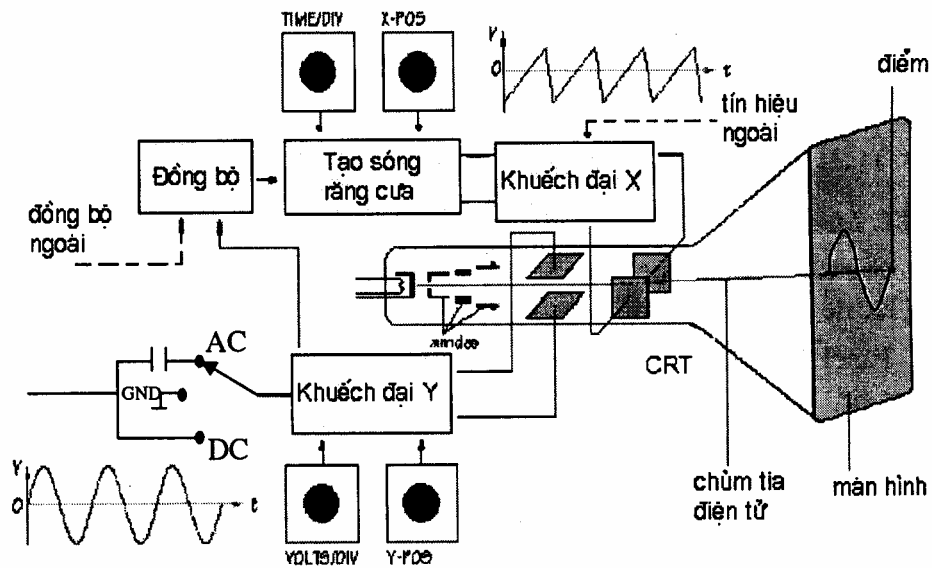


Digital Oscilloscopes

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 và 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.

5.3.2. Sơ đồ khối của một máy hiện sóng thông dụng



Tín hiệu vào được đưa qua bộ chuyển mạch AC/DC (khoá 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 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 để đưa tới điều khiển cặp làm lệch đứng. Tín hiệu của bộ KĐ Y cũng được đưa tới trigô (khởi đồng bộ), trường hợp này gọi là đồng bộ trong, để kích thích mạch tạo sóng răng cưa (còn gọi là 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 làm việc ở chế độ đồng bộ ngoài bằng cách cắt đường tín hiệu từ KĐ 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 nút 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 nút điều chỉnh việc di chuyển sóng theo chiều ngang cho tiện quan sát

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

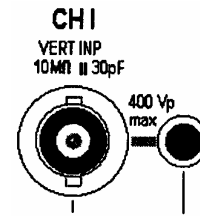
Sau đây ta sẽ xem xét phần điều khiển, vận hành và các ứng dụng thông dụng nhất của một máy hiện sóng.

5.3.3. Thiết lập chế độ hoạt động và cách điều khiển một máy hiện sóng

5.3.3.1. Thiết lập chế độ hoạt động cho máy hiện sóng

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

Panel trước của máy hiện sóng gồm ba 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.

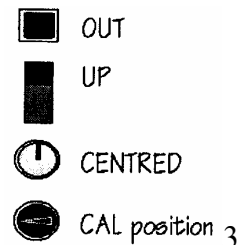


Nối các đầu đo vào đúng vị trí (thường có ký hiệu CH1, CH2 với kiểu đầu nối BNC (xem hình bên). Các máy hiện sóng thông thường sẽ có hai que đo ứng với hai kênh và màn hình sẽ hiện dạng sóng tương ứng với mỗi kênh.

Một số máy hiện sóng có chế độ AUTOSET hoặc PRESET để thiết lập lại toàn bộ phần điều khiển, nếu không ta phải tiến hành bằng tay trước khi sử dụng máy.

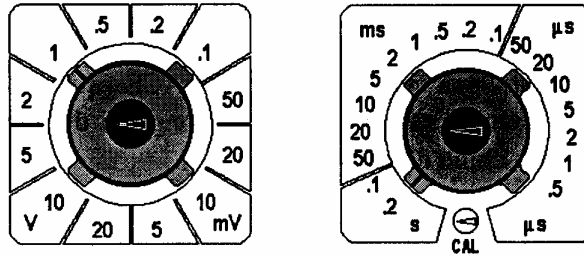
Các bước chuẩn hoá như sau:

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 nút xoay về vị trí CENTRED



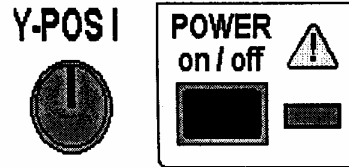
+ Đưa nút giữa của VOLTS/DIV, TIME/DIV, HOLD OFF về vị trí CAL (cân chỉnh)

2. Vặn VOLTS/DIV và TIME/DIV về vị trí 1V/DIV và 2s/DIV.

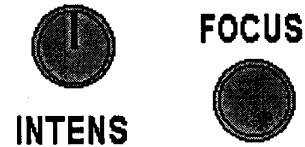


3. Bật nguồn.

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 μs trên màn hình sẽ là một vạch sáng thay cho điểm sáng.



5. Điều chỉnh INTENS để thay đổi độ chói và 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 sẽ xuất hiện một sóng vuông có biên độ đỉnh một ô trên màn hình và độ rộng xung cũng là một 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 như sẽ nói ở phần tiếp theo.

5.3.3.2. Các phần điều khiển chính

a) Điều khiển màn hình

Phần này bao gồm:

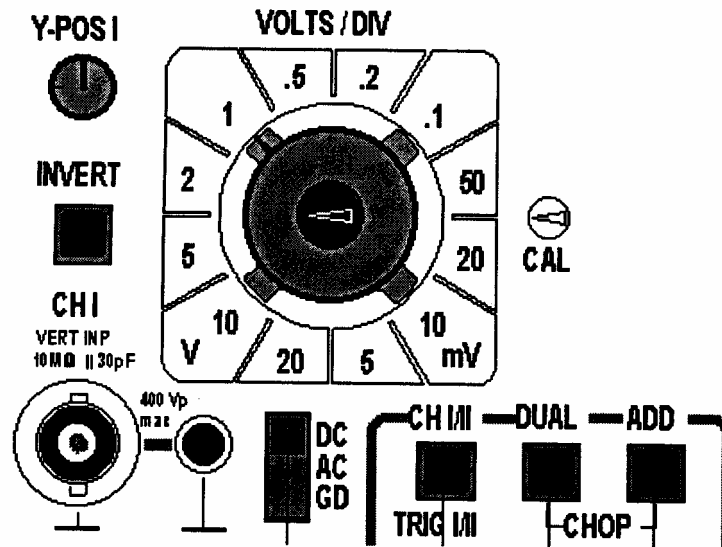
+ Điều chỉnh độ sáng - INTENSITY - của dạng sóng. Thông thường khi tăng tần số quét cần tăng thêm độ sáng để tiện quan sát hơn. Thực chất đây là điều chỉnh điện áp lưới.

+ 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).

b) 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 phần như:

INVERT: đảo dạng sóng;

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

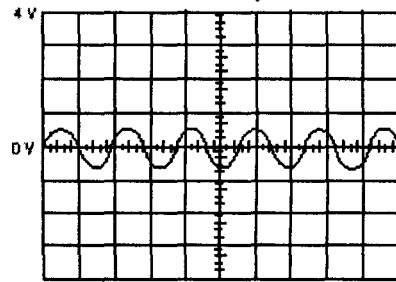
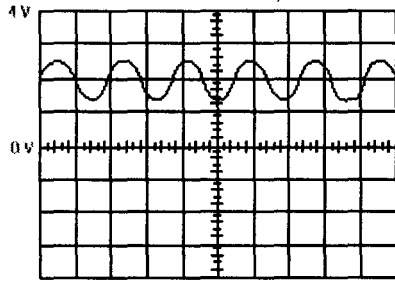
CH I/II: chọn kênh 1 hoặc kênh 2;

DUAL: chọn cả hai kênh;

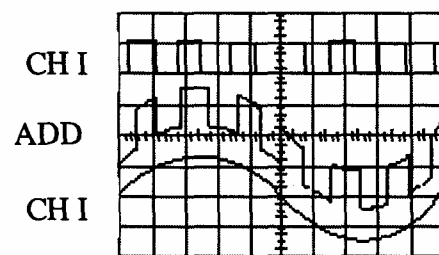
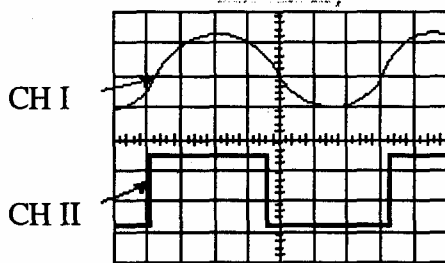
ADD: cộng tín hiệu của cả hai kênh.

Khi bấm nút INVERT dạng sóng của tín hiệu sẽ bị đảo ngược lại (đảo pha 180°).

Khi gạt công tắc về vị trí GD trên màn hình sẽ xuất hiện một đường 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).

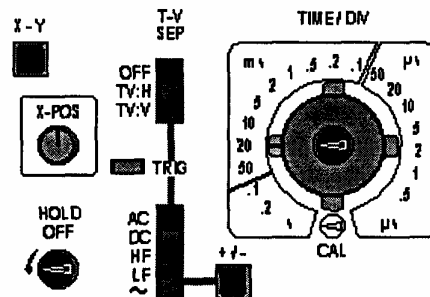


Khi ấn nút DUAL để chọn cả hai kênh thì trên màn hình sẽ xuất hiện hai đồ thị của hai dạng sóng ứng với 2 đầu đo. ADD để cộng các sóng với nhau. Nói chung vị trí của ba nút CH I/II, DUAL và ADD sẽ cho các chế độ hiển thị khác nhau tùy thuộc vào từng loại máy.

c) 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 hai dạng sóng.

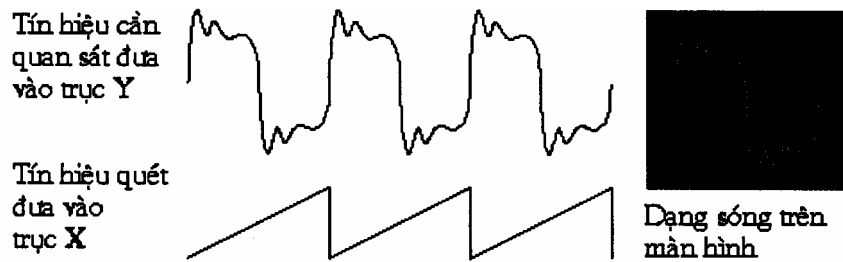
5.3.4. Ứng dụng của máy hiện sóng trong kỹ thuật đo lường

Máy hiện sóng hiện nay được gọi là máy hiện sóng vạn năng vì không đơn thuần là hiển thị dạng sóng mà nó còn thực hiện được nhiều kỹ thuật khác như thực hiện hàm toán học, thu thập 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.

5.3.4.1. 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 trigô 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 hai, bốn hoặc tám tín hiệu dạng bất kỳ cùng một lúc và tần số quan sát có thể lên tới 400MHZ.



5.3.4.2. Đo điện áp

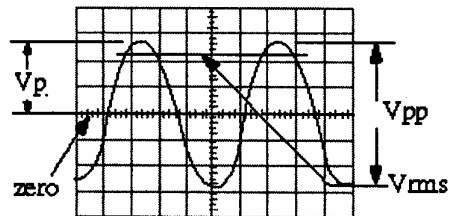
Việc tính giá trị điện áp của tín hiệu được thực hiện bằng cách đếm số ô trên màn hình và nhân với giá trị VOLTS/DIV.

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

$$V_p = 2,7\hat{o} \times 1V = 2,8V$$

$$V_{pp} = 5,4\hat{o} \times 1V = 5,4V$$

$$V_{rms} = 0,707V_p = 1,98V.$$

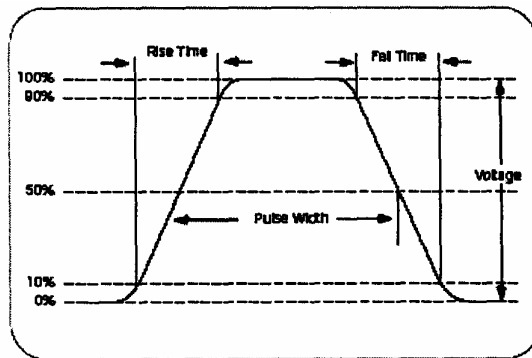


Ngoài ra, với tín hiệu xung người ta còn sử dụng máy hiện sóng để xác định thời gian tăng sườn xung (rise time), giảm sườn xung (fall time) và độ rộng xung (pulse width) với cách tính như hình bên.

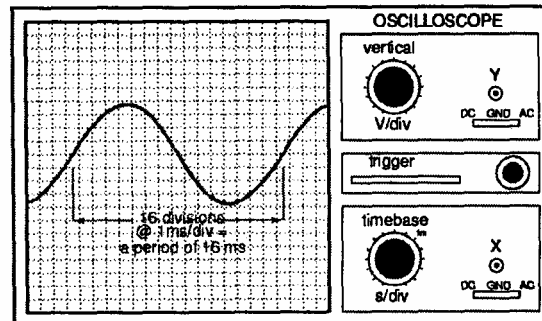
5.3.4.3. Đo tần số và khoảng thời gian

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.



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



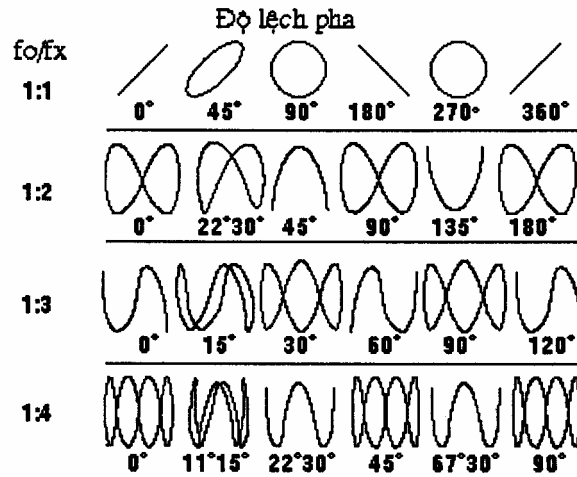
$$\text{Frequency} = \frac{1}{\text{period}} = \frac{1}{16 \text{ ms}} = 62.5 \text{ Hz}$$

5.3.4.4. 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 ước nguyên của tần số chuẩn thì trên màn hình sẽ có một đường Lissajou đứng yên. Hình dáng của đường Lissajou rất khác nhau tùy thuộc vào tỉ số tần số giữa hai tín hiệu và độ lệch pha giữa chúng (xem hình dưới).



Ta có:

$$\frac{f_0}{f_x} = \frac{m}{n}$$

với n là số múi theo chiều ngang và m là 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 hai 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 màn hình (góc tọa độ). Khi đó góc lệch pha được tính bằng:

$$\varphi = \operatorname{arctg} \left(\frac{A}{B} \right)$$

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

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%).

Chương 6

ĐO CÁC THÔNG SỐ CỦA MẠCH ĐIỆN

6.1. Đo điện trở

6.1.1. Ý nghĩa và yêu cầu của việc đo điện trở

a) Ý nghĩa

Điện trở là một thông số rất quan trọng của mạch điện và các hệ thống cung cấp điện, tuy nhiên phần lớn các giá trị của chúng thay đổi theo nhiệt độ theo điều kiện môi trường. Vì vậy khi lắp ráp, vận hành các mạch điện, khi thí nghiệm, nghiệm thu các mạch điện, các hệ thống cung cấp điện, các hệ thống tự động hoá... ta phải tiến hành đo và kiểm tra các giá trị điện trở.

b) Phân loại

Điện trở thông thường được phân ra thành ba nhóm:

- + Điện trở nhỏ là các điện trở có giá trị $R < 1\Omega$;
- + Điện trở trung bình là các điện trở có giá trị là $1\Omega \leq R < 0,1 \text{ M}\Omega$
- + Điện trở lớn các điện trở có giá trị $R \geq 0,1\text{M}\Omega$

c) Yêu cầu khi đo điện trở

+ Khi đo các giá trị điện trở nhỏ cần tìm mọi biện pháp để loại trừ ảnh hưởng của điện trở dây nối, điện trở tiếp xúc, sức điện động tiếp xúc. Để khắc phục một phần, trên các điện trở mẫu người ta phân thành các cực dòng và cực áp riêng.

+ Khi đo các giá trị điện trở lớn cần tránh sự ảnh hưởng của điện trở khối và điện trở bề mặt.

+ Khi đo điện trở của các vật có độ ẩm cao người ta thường dùng nguồn xoay chiều để tránh hiện tượng điện phân.

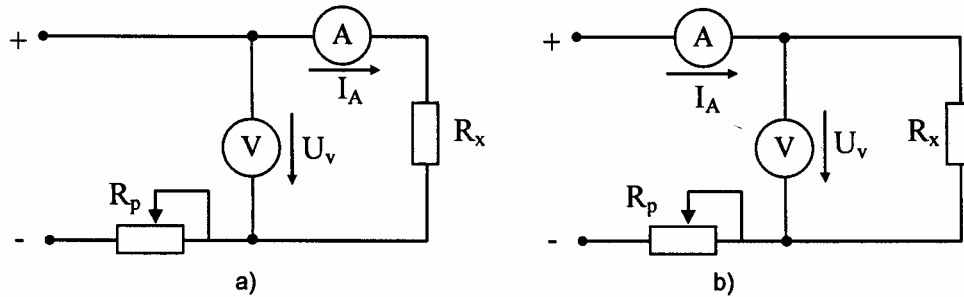
+ Khi đo điện trở của các vật liệu rắn ta nên dùng nguồn một chiều để tránh sự ảnh hưởng của điện dung ký sinh.

6.1.2. Đo điện trở bằng phương pháp gián tiếp

6.1.2.1. Phương pháp dùng nguồn một chiều

Nguyên tắc

Dùng ampeomet và volmet đo dòng và áp trên điện trở rồi suy ra $R_x' = \frac{U_V}{I_A}$ thông qua hai sơ đồ:



Hình 6.1. Đo điện trở bằng phương pháp gián tiếp nguồn một chiều

Phân tích sai số phụ

- Xét Hình 6.1a

$$R_x' = \frac{U_x + I_A R_A}{I_A} = R_x + R_A.$$

Vậy sai số phụ trong quá trình đo:

$$\gamma_p \% = \frac{R_x' - R_x}{R_x} 100\% = \frac{R_A}{R_x} 100\%. \quad (6-1)$$

Nhận xét: Nếu R_A càng nhỏ thì γ_p càng nhỏ cho nên phương pháp này dùng để đo điện trở lớn.

- Xét Hình 6.1b

$$R_x' = \frac{U_v}{I_A} = \frac{U_x}{I_x + I_v} = \frac{1}{\frac{I_x}{U_x} + \frac{I_v}{U_x}} = \frac{1}{\frac{1}{R_x} + \frac{1}{R_v}}.$$

Vậy sai số phụ trong quá trình đo là:

$$\gamma_p \% = \left| \frac{R_x' - R_x}{R_x} \right| 100\% = \left(1 - \frac{1}{1 + \frac{R_x}{R_v}} \right) 100\%. \quad (6-2)$$

Ví dụ 6.1: Tính sai số phụ khi tiến hành đo điện trở một chiều của

cuộn dây thứ cấp MBA 100KVA – 10/0,4KV, biết theo lí lịch: $[R_{2A}] = [R_{2B}] = [R_{2C}] = [R_X] = 120(m\Omega)$.

Cho: $R_A = 0,1\Omega$; $R_v = 100k\Omega$

Bài làm

Theo sơ đồ Hình 6.1a

$$\gamma_p \% = \frac{R_A}{R_x} 100\% = \frac{0,1}{0,12} 100\% = 80\% .$$

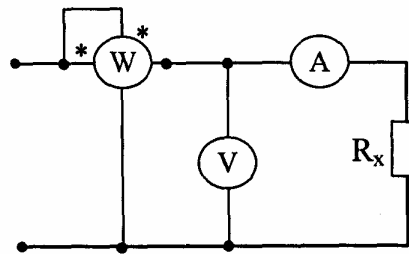
Theo sơ đồ Hình 6.1b

$$\gamma_p \% = \left(1 - \frac{1}{1 + \frac{R_x}{R_v}} \right) . 100\% = \left(1 - \frac{1}{1 + \frac{0,12}{100.000}} \right) . 100\% \approx 0\% .$$

Kết luận: Dùng Hình 6.1a để đo các điện trở lớn;

Dùng Hình 6.1b để đo các điện trở nhỏ.

6.1.2.2. Dùng nguồn xoay chiều



Hình 6.2. Đo điện trở bằng phương pháp gián tiếp nguồn xoay chiều

Yêu cầu :

- + Nguồn điện áp thí nghiệm phải thật hình sin;
- + Các đồng hồ V, A, W phải đảm bảo điều kiện về sai số phụ và sai số gián tiếp.

Điện trở R_x được xác định như sau:

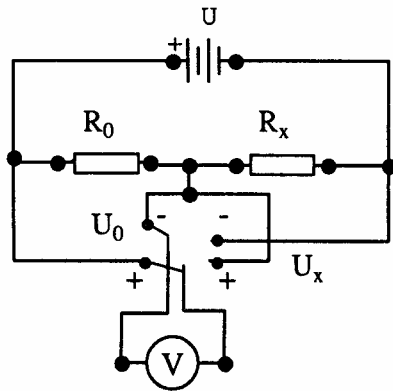
$$R_x = \frac{P_w}{I_A^2}$$

với P_w và I_A lần lượt là số chỉ của wattmet và ampemet.

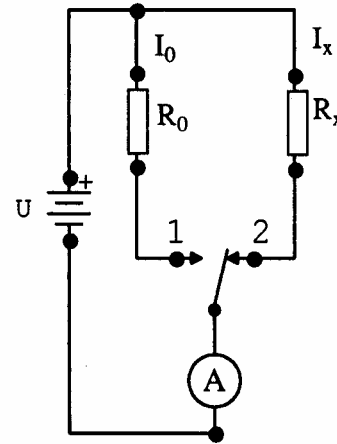
Trong trường hợp cần xác định tổng trở thì mắc thêm volmet và tổng trở được xác định như sau:

$$z_x = \frac{U_v}{I_A}$$

6.1.2.3. Đo điện trở bằng phương pháp so sánh với điện trở mẫu



a) Sơ đồ mắc nối tiếp



b) Sơ đồ mắc song song

Hình 6.3. Đo điện trở bằng phương pháp so sánh với điện trở mẫu

Giả sử có sơ đồ mạch như trên, khi đó có thể xác định điện trở R_x theo công thức tương ứng với hai sơ đồ như sau:

Sơ đồ a : điện trở đo và điện trở mẫu R_0 mắc nối tiếp

Điện áp rơi trên điện trở mẫu là U_0 , điện áp rơi trên điện trở đo là U_x . Khi đó nếu dòng qua các điện trở không đổi ta có:

$$\begin{aligned} \frac{U_0}{R_0} &= \frac{U_x}{R_x} \\ \Rightarrow R_x &= \frac{U_x}{U_0} R_0. \end{aligned}$$

Sơ đồ b : điện trở đo và điện trở mẫu mắc song song

Dòng điện qua điện trở mẫu là I_0 , dòng qua điện trở đo là I_x . Với điện áp cung cấp ổn định ta có:

$$I_0 R_0 = I_x R_x$$

$$\Rightarrow R_x = \frac{I_0}{I_x} R_0.$$

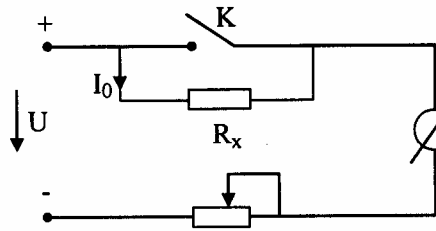
6.1.3. Đo điện trở bằng phương pháp trực tiếp

Thường dùng ommet từ điện, có hai loại như sau:

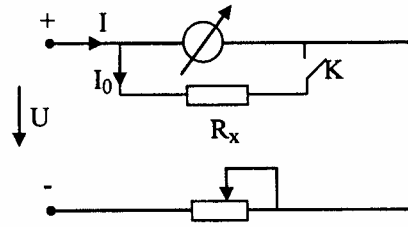
6.1.3.1. Cơ cấu một khung dây chỉ số phụ thuộc điện áp

Loại này thường có hai sơ đồ mắc:

- Mắc nối tiếp đo R lớn;
- Mắc song song đo R nhỏ.



Hình 6.4



Hình 6.5

+ Sơ đồ mắc nối tiếp như Hình 6.4.

Khi đo ta mở khoá K, ta có:

$$\alpha = C_1 I_0 = C_1 \frac{U}{R_x + R_0 + R_p}$$

với R_x là điện trở cần đo, R_0 là điện trở trong của cơ cấu.

Vậy $\alpha = f(R_x)$ nếu $U.C_1 = \text{const}$;

+ Sơ đồ mắc song song như Hình 6.5.

Khi đo ta đóng khoá K. Ta có góc quay

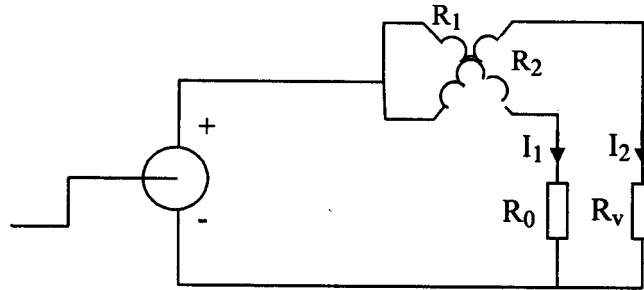
$$\alpha = C_1 I_0 = C_1 \frac{U}{R_p + \frac{R_x R_0}{R_x + R_0}} \frac{R_x}{R_x + R_0} = \frac{U C_1 R_x}{R_x R_0 + R_x R_p + R_p R_0}.$$

$$\text{hay } \alpha = \frac{U C_1}{R_p + R_0 + \frac{R_p R_0}{R_x}} = f(R_x) \text{ nếu } U C_1 = \text{const}.$$

Chú ý: Thực tế thì UC_1 có thể bị thay đổi. Vì vậy ta phải điều chỉnh C_1 hoặc R_p trước khi đo. Từ các biểu thức trên ta thấy muốn điều chỉnh vị trí '0' của kim ta phải đóng khoá K trong sơ đồ nối tiếp và mở khoá K trong trường hợp sơ đồ song song. Sau đó ta điều chỉnh Shunt từ và R_p sao cho kiến chỉ '0'.

6.1.3.2. Cơ cấu hai khung dây chỉ số không phụ thuộc điện áp

Cơ cấu chỉ thị là logomet từ điện, nguồn điện áp một chiều có giá trị là 500V; 1000V; 1500V; 2500V; 6000V được phát ra từ máy phát quay tay hoặc nguồn nhân điện áp.



Hình 6.6. Đo điện trở bằng ommet từ điện

Khi đo, ta có:

$$I_1 = \frac{U}{R_1 + R_0}; I_2 = \frac{U}{R_2 + R_x}$$

với R_1 và R_2 là điện trở hai cuộn dây động; R_0 là điện trở mẫu lắp sẵn trong thiết bị; R_x là điện trở cần đo. Đối với cơ từ điện có hai khung dây động thì góc quay α là:

$$\alpha = f(I_1/I_2) = f(R_x)$$

với $R_0; R_1; R_2 = \text{const}$ và

$$\frac{I_1}{I_2} = \frac{R_2 + R_x}{R_1 + R_0}$$

6.1.4. Đo điện trở bằng phương pháp so sánh

6.1.4.1. Đo điện trở trung bình bằng cầu đơn

Cầu đơn ví dụ như cầu P333 của Nga theo sơ đồ hai dây, cầu QJ của Trung Quốc... thường dùng đo những điện trở lớn hơn hoặc bằng 1Ω (Những trường hợp điện trở nhỏ hơn cũng có thể đo được nhưng sẽ tăng sai số).

Sơ đồ nguyên lý của cầu đơn như Hình 6.7, trong đó:

R_1 là điện trở đề các có thể thay đổi từ 0 đến 9999, bước 1Ω .

R_2, R_3 là các điện trở cố định. Các điện trở R_1, R_2, R_3 là các điện trở mẫu làm bằng hợp kim của mangan có độ chính xác cao, R_x là điện trở cần đo.

Chỉ thị G là cơ cấu từ điện có độ nhạy cao, ngưỡng độ nhạy rất nhỏ.

Khi đo ta điều chỉnh cho cầu cân bằng, lúc đó ta có quan hệ sau:

$$\begin{cases} I_1 = I_3 \\ I_2 = I_4 \end{cases} \quad \text{và} \quad \begin{cases} I_1 R_1 = I_2 R_x \\ I_3 R_3 = I_4 R_4 \end{cases}$$

Vậy:

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

Thông thường $\frac{R_1}{R_3}$ là bội số của 10 và thường bằng (0,001; 0,01; 0,1;

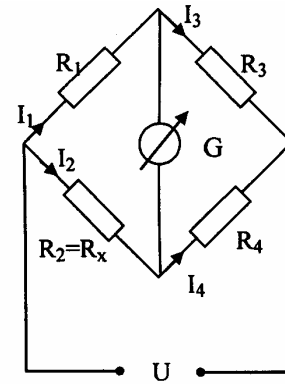
1; 10; 100)

Căn cứ vào vị trí của con trượt trên R_4 ta xác định được R_x .

Nhận xét: Cầu đơn có một nhược điểm là không loại trừ được điện trở dây nối nhưng có ưu điểm là dễ cân bằng.

6.1.4.2. Đo điện trở nhỏ bằng cầu kép

Cầu kép ví dụ như cầu P333 của Nga theo sơ đồ bốn dây thường dùng đo các điện trở lớn hơn hoặc bằng $5m\Omega$. Các điện trở nhỏ hơn cũng có thể đo được nhưng sẽ tăng sai số.

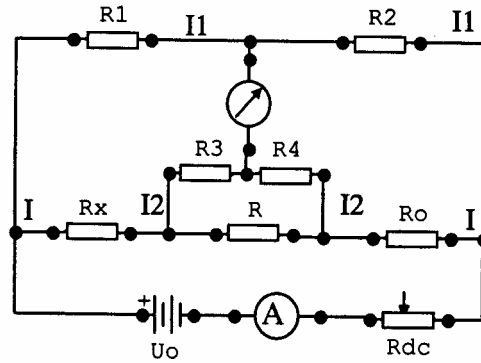


Hình 6.7. Đo điện trở bằng cầu đơn

Sơ đồ cầu kép như Hình 6.8.

Khi đo ta điều chỉnh cho cầu cân bằng, tức kim điện kế chỉ 0, dòng qua chỉ thị bằng 0, ta có:

+ Dòng qua R_1, R_2 là dòng I_1 , dòng qua R_3, R_4 là dòng I_2 .



Hình 6.8. Sơ đồ cầu kép

+ Theo vòng 1 ta có:

$$I.R_x = I_1.R_1 - I_2.R_3$$

$$\Rightarrow I.R_x = R_1 \left(I_1 - I_2 \frac{R_3}{R_1} \right)$$

+ Theo vòng 2 ta có:

$$I.R_0 = I_1.R_2 - I_2.R_4$$

$$\Rightarrow I.R_0 = R_2 \left(I_1 - I_2 \frac{R_4}{R_2} \right)$$

Vậy:

$$\frac{R_x}{R_0} = \frac{R_1}{R_2} \frac{I_1 - I_2 \frac{R_3}{R_1}}{I_1 - I_2 \frac{R_4}{R_2}}$$

Với điều kiện:

$$\frac{R_3}{R_1} = \frac{R_4}{R_2} \quad \text{hay} \quad \frac{R_1}{R_2} = \frac{R_3}{R_4}$$

Thì

$$R_x = R_0 \frac{R_1}{R_2}$$

Như vậy nếu trong quá trình đo luôn giữ được tỉ số $R_1/R_2 = R_3/R_4$ thì ta sẽ tính được R_x thông qua tỉ số trên.

Chú ý:

- Các điện trở R_1, R_2, R_3, R_4, R_0 là các điện trở mẫu làm bằng hợp kim của mangan có độ chính xác cao; R_0 là điện trở đề các có thể thay đổi từ $0 \div 9999,9\Omega$ bước $0,1\Omega$; R_x là điện trở cần đo.

- Các điện trở R_1, R_2, R_3, R_4 có giá trị $\geq 10\Omega$. Tỷ số R_1/R_2 có thể thay đổi và thường bằng: $10^{-4}, 10^{-3}, 10^{-2}, 10^{-1}, 1, 10$. Cần đặt tỷ số R_1/R_2 sao cho phù hợp nhất với R_x cần đo.

- Cầu kép có một ưu điểm nổi bật là có thể loại trừ được điện trở dây nối, nhưng có nhược điểm là khó cân bằng nếu R_x là các cuộn dây máy điện.

6.1.5. Đo điện trở cách điện của lưới và thiết bị điện

6.1.5.1. Nhận xét về điện trở cách điện

Điện trở cách điện là các giá trị điện trở lớn (vào khoảng vài $M\Omega$ trở lên ví dụ như điện trở cách điện của vật liệu cách điện), do vậy phương pháp đo điện trở cách điện là các phương pháp đo đặc thù điện trở lớn. Điện trở cách điện càng lớn tương ứng với cấp điện áp làm việc của thiết bị điện càng lớn.

Khi đo điện trở có trị số lớn thông thường sẽ có hai thành phần điện trở:

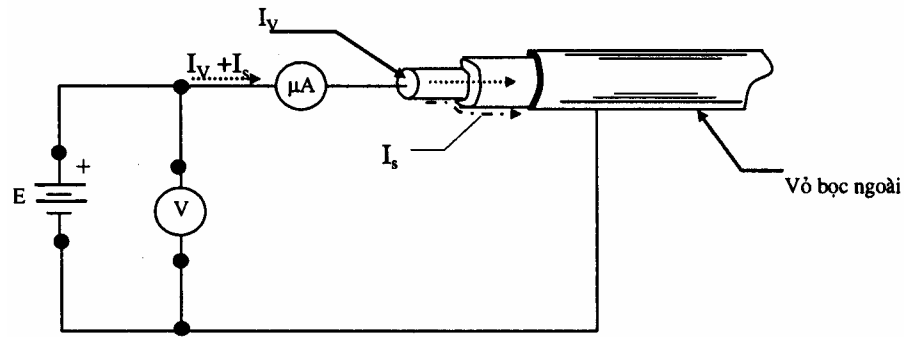
+ Điện trở khối R_v (Volume Resistance), đây là thành phần điện trở cần đo.

+ Điện trở rò bề mặt R_s (Surface Leakage Resistance).

Hai thành phần điện trở này xem như song song với nhau, như vậy hai điện trở này có thể so sánh được thì sẽ ảnh hưởng đáng kể đến điện trở khối cần đo.

6.1.5.2. Phương pháp đo điện trở cách điện dùng volmet và

microampemet



Hình 6.9. Sơ đồ đo điện trở cách điện khi chưa loại bỏ dòng điện rò

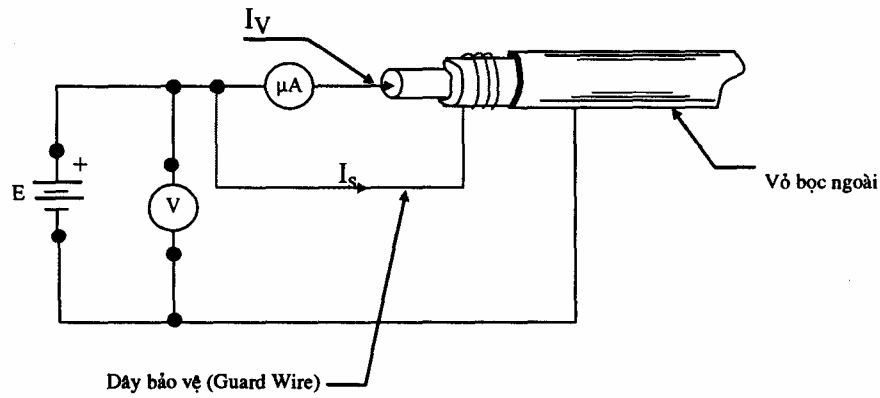
Giả sử cần đo điện trở cách điện giữa lớp vỏ bọc dây dẫn và dây dẫn của dây dẫn kim loại đồng trục có vỏ bọc bên ngoài.

Dòng điện đi qua microampemet bao gồm hai dòng điện là dòng I_v và dòng I_s . Dòng điện I_v là dòng điện đi qua lớp cách điện, còn dòng I_s là dòng rò đi qua bề mặt của dây dẫn và lớp cách điện.

Do vậy điện trở xác định được thông qua volmet và ampemet R_d là điện trở của khối của lớp cách điện và điện trở rò bề mặt mắc song song:

$$R_d = \frac{E}{I_v + I_s} = \frac{E}{\frac{E}{R_v} + \frac{E}{R_s}} = \frac{R_v R_s}{R_v + R_s}.$$

Như vậy do ảnh hưởng của dòng I_s cho nên điện trở đo được bao giờ cũng nhỏ hơn điện trở khối cần đo. Như vậy để kết quả đo chính xác người ta cần phải loại bỏ dòng điện I_s qua microampemet thì khi đó điện trở đo được sẽ chính là điện trở khối cần đo. Sơ đồ đo loại bỏ dòng điện rò như sau:



Hình 6.10. Sơ đồ đo điện trở cách điện khi loại bỏ dòng điện rò

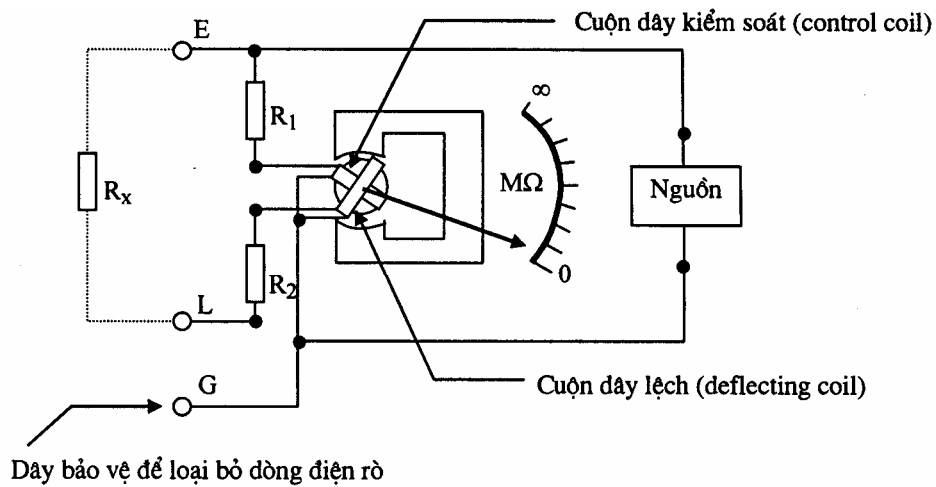
Để tránh ảnh hưởng của R_s bằng cách loại bỏ dòng điện I_s qua microampemet, người ta dùng dây dẫn điện (không có vỏ bọc cách điện) quấn quanh lớp vỏ cách điện và nối trước microampemet. Như vậy dòng điện I_s đi qua R_s lúc trước sẽ đi qua dây dẫn này do đó ảnh hưởng của R_s vào R_v bị loại bỏ. Vòng dây này gọi là dây bảo vệ.

Chú ý: Tuy nhiên không phải trường hợp nào khi đo điện trở cách điện chúng ta cũng sử dụng vòng dây bảo vệ, khi đo điện trở cách điện nào đó chúng ta phải xác định xem điện trở cách điện đó có bị ảnh hưởng bởi điện trở bề mặt hay không, nếu có mới sử dụng vòng dây bảo vệ.

6.1.5.3. Phương pháp đo điện trở cách điện dùng megomet chuyên dụng

Megomet là thiết bị chuyên dụng để đo điện trở cách điện, được cấu tạo bởi cơ cấu chỉ thị logomet từ điện.

Sơ đồ megomet như sau:



Hình 6.11. Sơ đồ nguyên lý megommet đo điện trở cách điện

Trong megommet nguồn được tạo ra từ máy phát quay tay (đối với các megommet loại cũ) hoặc từ mạch điện tử dùng pin (đối với các megommet mới sau này).

Dòng điện I_1 qua cuộn dây kiểm soát:

$$I_1 = \frac{E}{R_1 + r_1}$$

Dòng điện qua cuộn dây lệch:

$$I_2 = \frac{E}{R_x + R_2 + r_2}$$

trong đó: R_1, R_2 là các biến trở mẫu; r_1, r_2 lần lượt là điện trở của các cuộn dây kiểm soát và cuộn dây lệch; E là nguồn.

Theo nguyên lý của cơ cấu chỉ thị logomet từ điện ta có góc quay của megommet là:

$$\alpha = f\left(\frac{I_2}{I_1}\right) = f\left(\frac{R_1 + r_1}{R_x + R_2 + r_2}\right) = f(R_x).$$

Khi $R_x \rightarrow 0$ góc quay α đạt cực đại, kim chỉ thị lệch về phía phải (trị số 0Ω)

Khi $R_x \rightarrow \infty$ góc quay α đạt cực tiểu, kim chỉ thị lệch về phía trái (trị số ∞)

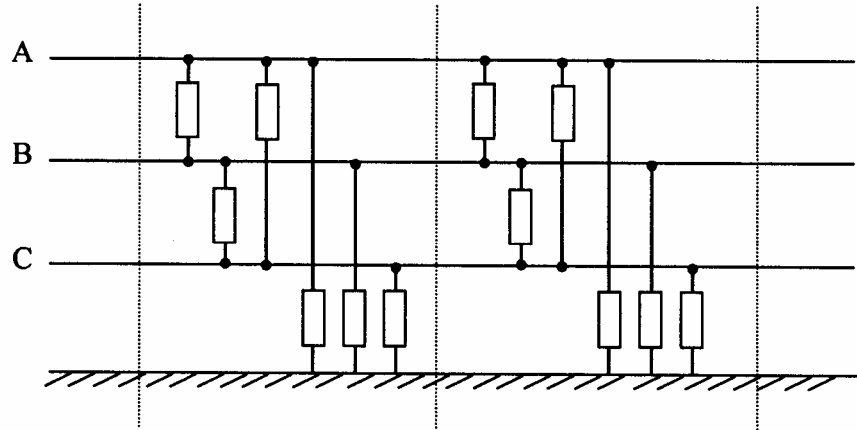
Thay đổi thang đo bằng cách thay đổi trị số R_2 .

Trong megommet có đầu G dùng để nối dây bảo vệ để loại bỏ điện trở rò bề mặt.

6.1.5.4. Đo điện trở cách điện của lưới điện và thiết bị điện

a) Nhận xét

Mỗi lưới điện có thể xem như hàng loạt đoạn dây có chiều dài một đơn vị mắc nối tiếp với nhau. Các thông số của chúng là các thông số dài mắc song song với nhau như Hình 6.12.

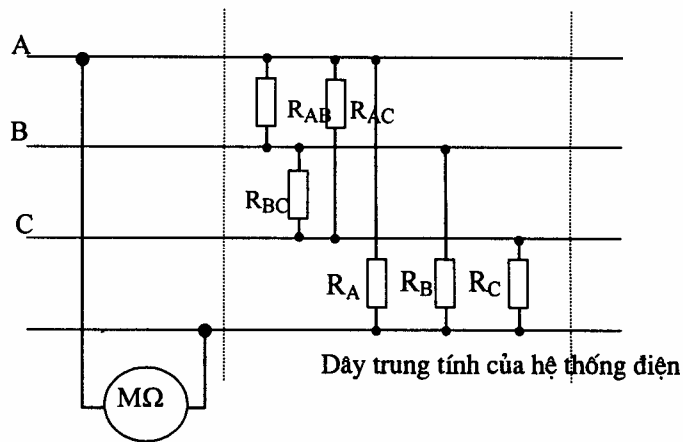


Hình 6.12 Phân bố các điện trở cách điện của đường dây

Trong tính toán người ta thường coi chúng như những thông số tập trung. Điện trở cách điện của đường dây thường bị thay đổi hoặc có thể đường dây bị sự cố. Vì vậy khi vận hành, hoặc khi thí nghiệm, nghiệm thu các đường dây và các thiết bị cách điện thì bắt buộc phải đo điện trở cách điện. Giá trị điện trở này không được nhỏ hơn một giá trị nào đó theo quy trình, quy phạm hiện hành (ví dụ điện trở cách điện được đo với megommet kế có $E = 1000V$ hoặc $2000V$ và điện trở cách điện tối thiểu được quy định là $1M\Omega$).

Điện trở cách điện của lưới trên đoạn được xét thường được đo giữa hai đầu dây dẫn điện với nhau hoặc từng dây dẫn điện với dây trung tính.

b) Đo điện trở cách điện của lưới và thiết bị điện khi tắt nguồn điện



Hình 6.13. Đo điện trở cách điện của đường dây khi không có điện áp làm việc

Để đo điện trở cách điện thường dùng nguồn một chiều tăng cao hoặc dùng megommet. Megommet được mắc như hình vẽ. Giả sử ta cần đo điện trở cách điện của pha A, kết quả đo được là sẽ là điện trở của hai nhánh: một nhánh là R_A và một nhánh là các điện trở tương đương song song, thông thường nhỏ hơn R_A . Ta thấy kết quả đo được của pha A sẽ nhỏ hơn điện trở cách điện thật của pha A so với đất do ảnh hưởng của các điện trở mắc song song.

Tương tự như vậy ta đo được: R_B ; R_C ; R_{AB} ; R_{BC} ; R_{CA} . Sau đó ta xác định được giá trị nhỏ nhất trong số $\{ R_A; R_B; R_C; R_{AB}; R_{BC}; R_{CA} \}$ là giá trị cách điện của đường dây.

Khi đường dây có tải, ba pha sẽ được nối với nhau bằng một tổng trở rất nhỏ so với điện trở cách điện do đó điện trở cách điện của cả hệ thống so với đất được tính:

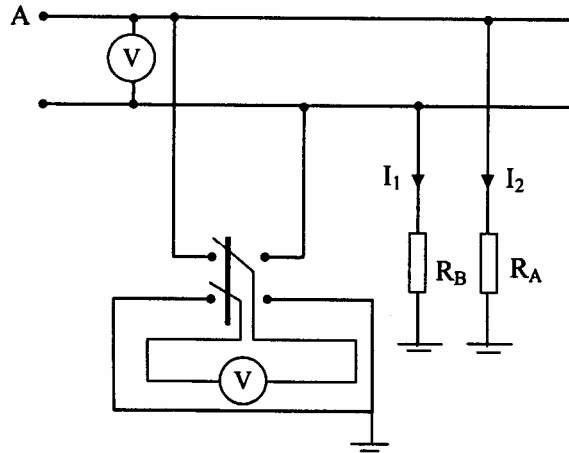
$$R_{\text{cttb}} = \frac{R_A \cdot R_B \cdot R_C}{R_A R_B + R_B R_C + R_C R_A} < \{ R_A; R_B; R_C \}.$$

c) Đo điện trở cách điện của lưới và thiết bị điện khi có điện áp làm việc (kiểm tra nóng)

Xuất phát từ sơ đồ Hình 6.14: dùng volmet đo U_A , U_B , $U_{AB} = U$, ta xác định được điện trở cách điện như sau:

+ Xét khi khoá K ở vị trí A. Dòng điện qua R_B được tính

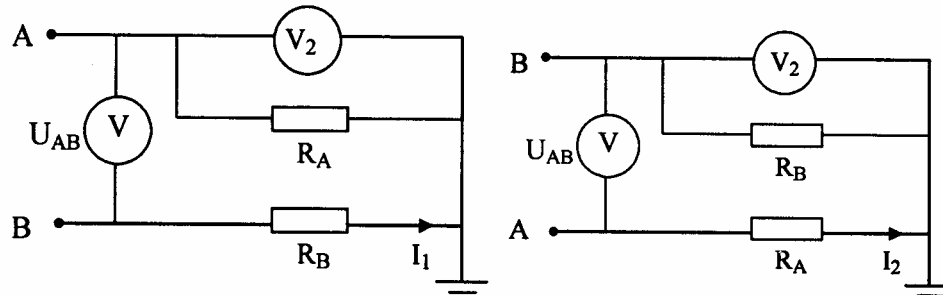
$$I_1 = \frac{U_{AB} - U_A}{R_B} = \frac{U_{AB}}{R_B + \frac{R_A \cdot R_v}{R_A + R_v}} \quad (6-12)$$



Hình 6.14. Đo điện trở cách điện của đường dây khi có điện áp làm việc

+ Xét khi khoá K ở vị trí B. Dòng điện qua R_A được tính:

$$I_1 = \frac{U_{AB} - U_B}{R_A} = \frac{U_{AB}}{R_A + \frac{R_B \cdot R_v}{R_B + R_v}} \quad (6-13)$$



Hình 6.15. Các sơ đồ tương đương

Từ (6-12) và (6-13) ta có:

$$\begin{cases} \frac{U_{AB} - U_A}{R_B} = \frac{U_{AB}}{R_B + \frac{R_A \cdot R_v}{R_A + R_v}} \\ \frac{U_{AB} - U_B}{R_A} = \frac{U_{AB}}{R_A + \frac{R_B \cdot R_v}{R_B + R_v}} \end{cases}$$

Giải hệ phương trình trên ta có kết quả:

$$R_A = R_v \cdot \frac{U_{AB} - U_A - U_B}{U_B}$$

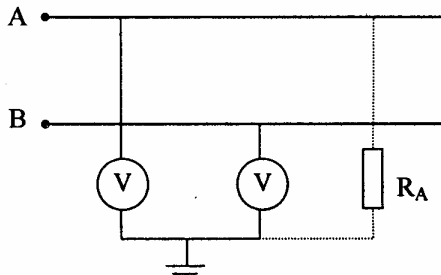
$$R_B = R_v \cdot \frac{U_{AB} - U_A - U_B}{U_A}$$

Thông thường $R_A, R_B \gg R_v$ lúc đó dòng qua volmet chính là I_1, I_2 .
Vì vậy:

$$\begin{cases} R_B = R_v \left(\frac{U_{AB}}{U_A} - 1 \right) \\ R_A = R_v \left(\frac{U_{AB}}{U_B} - 1 \right) \end{cases} \quad (6-14)$$

d) Kiểm tra cách điện của lưới hai dây bằng hai volmet

Sơ đồ kiểm tra cách điện được mô tả trên Hình 6.16. Khi cách điện bình thường số chỉ thị hai volmet như nhau, khi cách điện một pha nào đó giảm thì số chỉ của các volmet thay đổi (6-14) có nghĩa là bất kỳ sự giảm điện trở cách điện của một trong hai dây dẫn sẽ làm giảm điện áp của volmet này và tăng chỉ số của volmet kia.

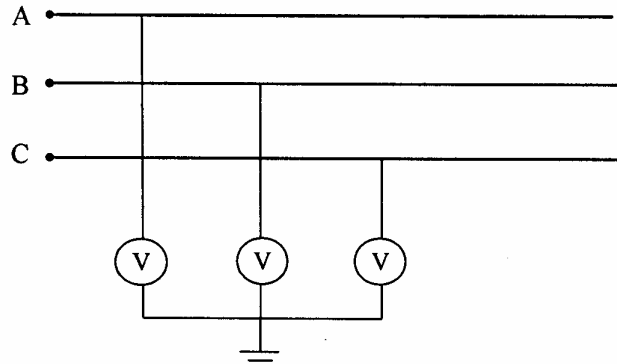


Hình 6.16. Kiểm tra cách điện của lưới hai dây dùng hai volmet

e) Kiểm tra cách điện của lưới ba pha điện áp thấp theo nguyên tắc trên

dùng ba volmet

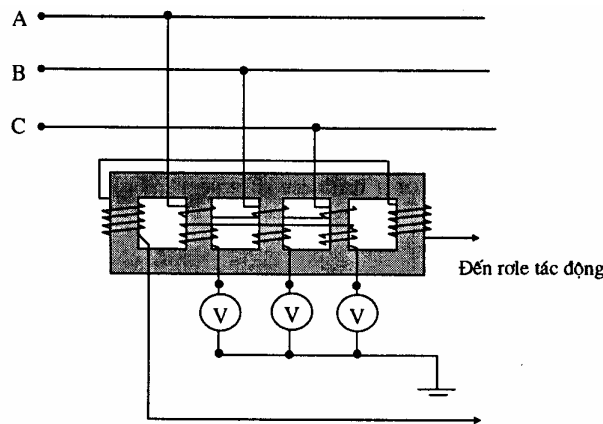
Khi cách điện bình thường số chỉ ba volmet là như nhau. Khi cách điện một pha nào đó giảm thì số chỉ của các volmet thay đổi theo hệ thức (6-14) trên



Hình 6.17. Kiểm tra cách điện của lưới ba dây dùng ba volmet

f) kiểm tra cách điện của lưới cao áp trung tính không nối đất

Người ta thường dùng máy biến áp ba pha năm trụ $Y_0/Y_0/\Delta$



Hình 6.18. Kiểm tra cách điện của lưới bằng MBA ba pha năm trụ

Khi cách điện bình thường, đầu ra của cuộn tam giác hở có một ngưỡng điện áp nhỏ nào đó, khi có một pha chạm đất, điện áp đầu ra của cuộn tam giác hở sẽ vượt quá ngưỡng, tức là có tín hiệu báo chạm đất một pha.

6.1.5.5. Đo điện trở cách điện của máy biến áp (MBA) điện lực và phân phối

Đo điện trở cách điện cho MBA nhằm đánh giá cách điện dây quấn và chất lỏng cách điện trong MBA. Đo điện trở cách điện của dây quấn cho biết thông tin về hàm lượng ẩm và cacbon. Trong giáo trình này chỉ trình bày cách đo giá trị cách điện của dây quấn, còn phần đo giá trị cách điện của dầu cách điện sinh viên có thể tìm hiểu thêm ở các tài liệu khác.

Đo điện trở cách điện được tiến hành trước hoặc sau khi sửa chữa hoặc bảo dưỡng MBA. Kết quả đo được ghi lại dùng cho mục đích so sánh về sau. Quy tắc chung được sử dụng đối với các giá trị nghiệm thu dùng cho đóng điện an toàn là trị số cách điện $1M\Omega/1KV$ của giá trị định mức ghi trên nhãn máy và cộng thêm $1M\Omega$.

Trình tự đo điện trở cách điện dây quấn MBA như sau:

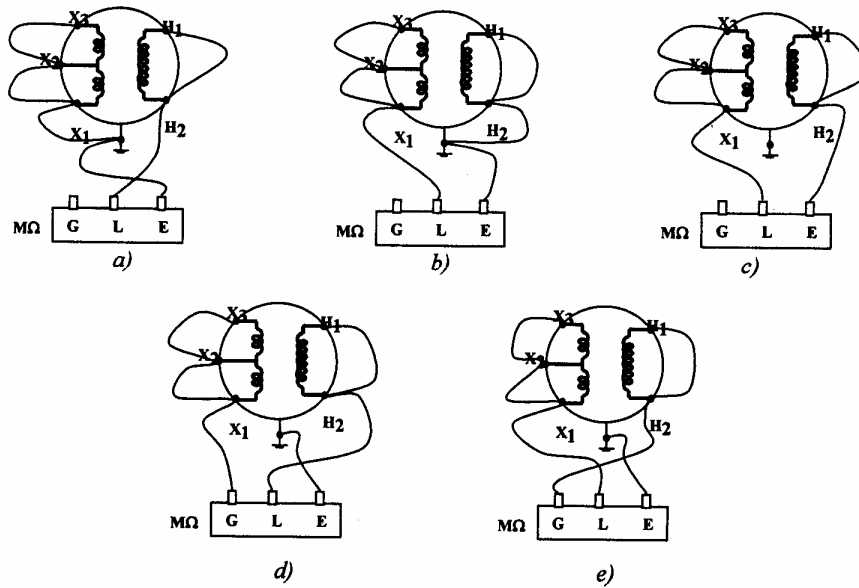
- + Không cắt nối đất vỏ và lõi MBA và đảm bảo vỏ và lõi được tiếp đất tốt.

- + Tháo tất cả các đầu nối cao áp, hạ áp và trung tính, chống sét, hệ thống quạt, dụng cụ đo hoặc hệ thống điều khiển nối với dây quấn MBA.

- + Trước khi bắt đầu đo nối tất cả các sứ xuyên cao áp, đảm bảo cầu nối các bộ phận kim loại và dây đất sạch. Đối với dây quấn hạ áp tiến hành tương tự.

- + Sử dụng megommet có thang đo nhỏ nhất $20M\Omega$.

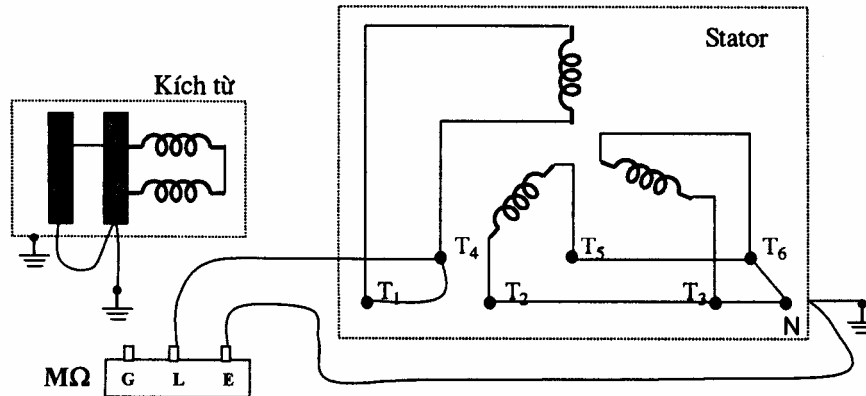
a) Đo cách điện của MBA một pha



Hình 6.19. Kiểm tra cách điện của MBA một pha

- a) Đo cách điện giữa dây quấn cao áp và hạ áp nối đất
- b) Đo cách điện giữa dây quấn hạ áp và cao áp nối đất
- c) Đo cách điện giữa dây quấn cao áp và hạ áp
- d) Đo cách điện giữa dây quấn cao áp và đất
- e) Đo cách điện giữa dây quấn hạ áp và đất

c) Đo cách điện riêng rẽ từng dây quấn stator

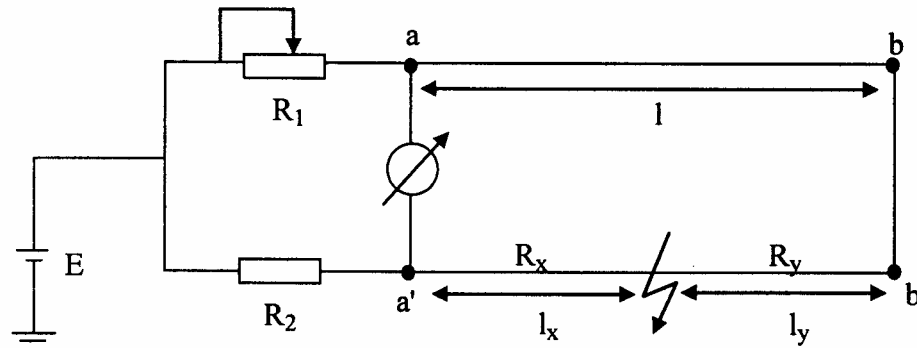


Hình 6.23. Kiểm tra cách điện của động cơ và máy phát

6.1.6. Phương pháp xác định vị trí chập cáp (chạm mass)

Khi cáp bị sự cố, ta cần xác định vị trí xảy ra sự cố để loại trừ sự cố thường gặp nhất là chập cáp ra vỏ. Phương pháp xác định vị trí chập cáp

dựa trên cần cân bằng hay còn gọi là vòng muray để đo điện trở chạm mass.



Hình 6.24. Xác định vị trí chạm mass

Hai đầu b, b' của lõi cáp nguyên và cáp hỏng được nối với nhau, còn hai đầu a, a' được nối qua 1 bộ điện trở điện kế, khi đó ta điều chỉnh cho cầu cân bằng. Khi đó ta có:

$$R_1.R_x = R_2(R + R_y)$$

$$R_1.R_x = R_2(2R - R_x) \text{ vì } R = R_x + R_y$$

Vậy

$$R_x = \frac{2R.R_2}{R_1 + R_2}$$

Sau khi biết R_x từ tiết diện S của lõi cáp, điện trở xuất của vật liệu làm lõi tính theo công thức:

$$R = \rho \cdot \frac{l}{S} \text{ (l: chiều dài đoạn cáp).}$$

Vậy

$$\rho \frac{l_x}{S} = 2 \cdot \rho \frac{l}{S} \frac{R_2}{R_1 + R_2} \Rightarrow l_x = \frac{2l.R_2}{(R_1 + R_2)}$$

Trong các biểu thức trên: l là chiều dài đoạn cáp; S là tiết diện cáp; ρ là điện trở suất của vật liệu chế tạo cáp.

Để kiểm tra kết quả đo ta tiến hành đo lại lần hai bằng cách đổi hai đầu aa' cho nhau, lúc đó ta xác định được l_y

$$l_y = \frac{2l.R_2}{(R_1' + R_2)}$$

Nếu phép đo chính xác ta có: $l_x + l_y = 1$.

6.1.7. Đo điện trở tiếp đất

6.1.7.1. Các khái niệm

Thuật ngữ "tiếp đất" hay "nối đất" ở đây được hiểu đồng nghĩa với việc nối một mạch điện hoặc thiết bị điện xuống đất. Cách nối như vậy được sử dụng cho việc bảo dưỡng thiết bị điện khi điện thế của chúng bằng điện thế đất, và đối với những hiện tượng tự nhiên như sét, đất có tác dụng làm đường phóng điện nhằm tránh hiện tượng bị điện giật và tránh hư hỏng thiết bị tài sản.

Điện trở tiếp đất bao gồm tổng điện trở của dây dẫn nối đất, bộ đầu nối, cọc nối đất và phần đất tiếp xúc với các cọc nối đất.

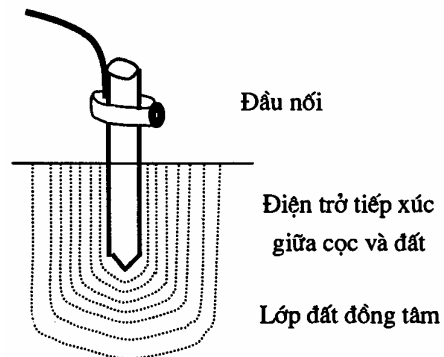
Vì điện thế cảm ứng do sự cố hệ thống điện với mạch vòng qua đất, điện trở tiếp đất nhỏ sẽ làm giảm điện thế này và tránh nguy hiểm cho người cũng như tránh cho hệ thống điện bị hư hỏng.

Trên lý thuyết, để duy trì điện thế chuẩn cho thiết bị an toàn, để bảo vệ an toàn điện trở tiếp đất phải bằng 0. Trong thực tế điều này không thể đạt được. Tuy nhiên tùy theo mức độ quan trọng của công trình và thiết bị điện thì điện trở tiếp đất tuân theo các yêu cầu của TCVN, NEC, OSHA và của những tiêu chuẩn an toàn điện khác.

6.1.7.2. Điện trở cọc tiếp đất

Hình 6.25 mô tả cọc tiếp đất. Điện trở tiếp đất này bao gồm những thành phần sau:

- + Điện trở của bản thân cọc và điện trở tiếp xúc của phần đầu nối;
- + Điện trở tiếp xúc của đất xung quanh cọc;
- + Điện trở của đất bao sát xung quanh cọc tiếp đất hoặc điện trở suất của đất. Đây là thành phần quan



Hình 6.25. Cọc tiếp đất

trọng nhất.

Các cọc tiếp đất thường làm bằng kim loại (đồng hoặc mạ đồng) với tiết diện thích hợp để điện trở là không đáng kể. Như vậy thành phần còn lại chính là điện trở của đất xung quanh. Có thể coi cọc được bao quanh bởi những lớp đất đồng tâm. Tất cả những lớp này có độ dày như nhau. Các lớp gần cọc có diện tích nhỏ hơn cho nên có điện trở lớn hơn, còn các lớp ở xa thì diện tích lớn hơn cho nên điện trở sẽ nhỏ hơn. Các lớp ở xa cọc quá sẽ không ảnh hưởng đến điện trở đất xung quanh cọc.

Điện trở cọc đất đơn được tính theo công thức do H.R.Dwight của Viện kỹ thuật Massachusetts đưa ra như sau:

$$R_d = \frac{\rho}{2\pi L} \frac{\ln 4L - 1}{r}$$

trong đó: R_d là điện trở cọc đất tính bằng Ω của cọc nối đất;

L là chiều dài của cọc (m); R là bán kính của cọc (m);

ρ là điện trở suất trung bình, tính bằng Ω/cm .

Từ công thức này cho thấy rằng điện trở của cọc đất phụ thuộc vào kích thước, độ sâu của cọc và điện trở suất của đất.

Khi tăng đường kính của cọc lên gấp đôi thường sẽ làm giảm 10% điện trở đất của cọc, còn khi tăng gấp đôi chiều dài của cọc sẽ làm giảm 40% điện trở của cọc tiếp đất. Đối với điện trở suất của đất thay đổi theo vùng và theo mùa. Điện trở đất được xác định theo chất điện phân của nó, bao gồm độ ẩm, khoáng chất và muối hoà tan.

6.1.7.3. Đo điện trở nối đất bằng phương pháp volmet, ampemet

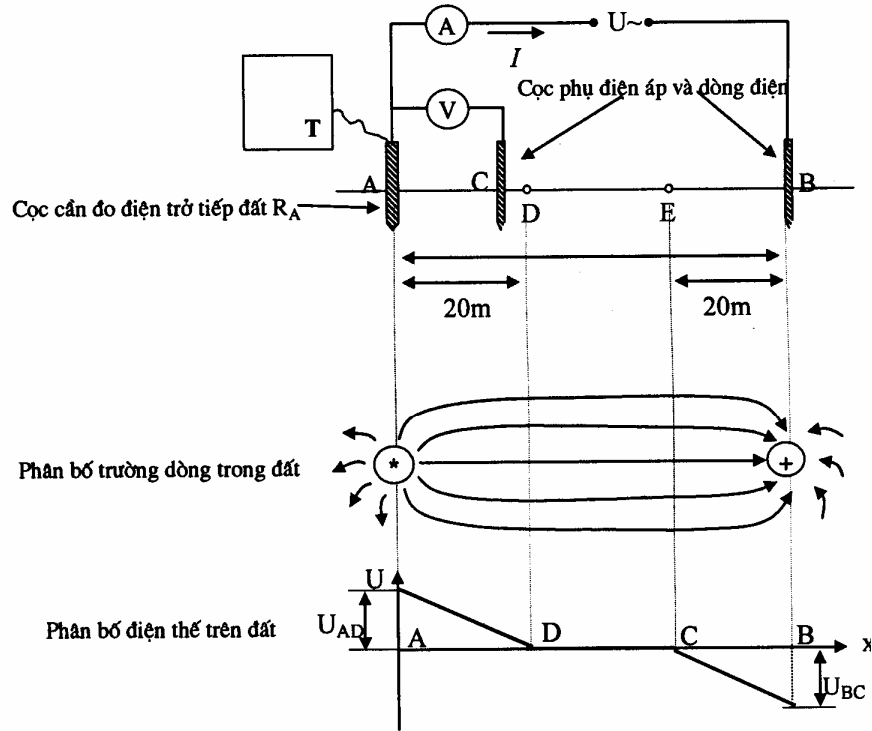
Khi cần đo điện trở nối đất của một cọc A bất kỳ người ta dùng thêm một cọc phụ B đóng cách cọc A chừng (50 ÷ 60)m và một cọc phụ C. Các volmet và ampemet mắc như hình vẽ. Khi cho dòng điện chạy từ cọc đến đất, dòng điện sẽ chạy theo hướng tâm của các lớp hình cầu, thường được gọi là hiệu ứng hình trụ của đất xung quanh cọc.

Sau khi dùng cọc dò C cho thay đổi từ A → B, căn cứ vào kết quả của volmet ta vẽ được đường phân bố thế năng trên mặt đất từ A → B, mô phỏng trường dòng trong đất như Hình 6.26. Ta có nhận xét sau. Ta

có:

$$AD = DE = EB (\approx 20\text{m})$$

trong đó vùng DE điện thế hầu như không đổi: $\varphi_E = \varphi_D = 0$.



Hình 6.26. Minh họa cách đo điện trở của cọc tiếp đất bằng phương pháp volmet và ampemet

Tại đoạn AD: $U_{AD} = \varphi_A - \varphi_D = \varphi_A$;

BE: $U_{BE} = \varphi_B - \varphi_E = \varphi_B$.

Vì vậy ta xác định được điện trở nối đất của cọc A:

$$R_A = \frac{U_{AD}}{I} = \frac{\varphi_A}{I}$$

và điện trở nối đất của cọc B:

$$R_B = \frac{U_{BE}}{I} = \frac{\varphi_B}{I}$$

Tóm lại: Khi cần đo R_A của cọc A ta dùng thêm một cọc B cách cọc A từ (50 ÷ 60)m và 1 cọc phụ C. Các cọc phụ này phải có điện trở xấp xỉ

hoặc nhỏ hơn điện trở của cọc cần đo. Các đồng hồ (V) và (A) mắc như hình vẽ; thay đổi C tới vùng DE thì dừng lại và ta xác định được

$$R_A = \frac{U}{I}$$

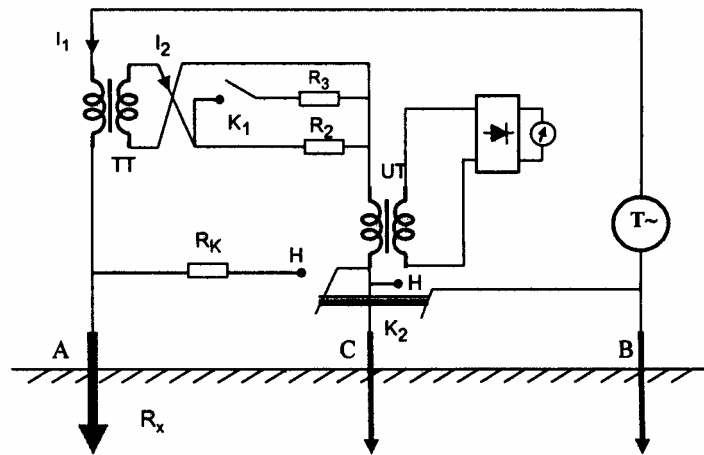
với U, I là chỉ số của volmet và ampemet.

Chú ý: Về mặt lý thuyết, điện trở đất của hệ thống nối đất phải được đo ở khoảng cách vô hạn kể từ cọc nối đất. Tuy nhiên đối với mục đích thực hành, hiệu ứng hình trụ của đất thì khoảng cách giữa các cọc gần nhau bằng hai lần độ dài của cọc cần đo điện trở là đủ. Nguồn cung cấp cho mạch đo là nguồn tín hiệu xoay chiều dạng sin hoặc xung vuông. Chúng ta tránh dùng nguồn một chiều do ảnh hưởng của điện phân sẽ làm tăng sai số do điện thế điện cực. Nếu dùng điện lưới của điện lực thì phải dùng biện pháp cách ly tránh ảnh hưởng của dòng trung tính (nếu có do điện thế lưới mất đối xứng) và cọc đất của dây trung tính.

6.1.7.4. Đo điện trở nối đất bằng dụng cụ chuyên dụng teromet

Sơ đồ cấu tạo teromet chuyên dụng loại M1103 của Liên Xô cũ như Hình 6.27.

Nguồn cung cấp nhờ máy điện xoay chiều tay quay. Máy biến dòng TT, cuộn thứ cấp nối với R_{ns} ; cơ cấu đo là cơ cấu từ điện nối với cuộn thứ cấp máy biến áp UT qua bộ chỉnh lưu.



Hình 6.27. Sơ đồ teromet M1103 của Liên Xô

Quá trình đo:

Khi dòng cho máy phát làm việc các cực A, B, C nối như hình vẽ. Lúc này có dòng I_1 , qua sơ cấp biến dòng điện qua cọc A, qua đất về cọc B trở về máy phát tạo nên một sụt áp trên R_x cần đo là:

$$U_1 = I_1 \cdot R_x.$$

Mặt khác sụt áp trên R_u do dòng I_2 của máy biến dòng điện TT sinh ra:

$$U_2 = I_2 \cdot R_2.$$

Khi hai điện áp chưa cân bằng $U_1 \neq U_2$ sẽ có tín hiệu vào cuộn sơ cấp máy biến áp và cơ cấu chỉ thị quay đi một góc nào đó. Trong quá trình đo người ta dịch chuyển con trượt trên R_2 sao cho kim chỉ 0 chỉ dừng lại $U_1 = U_2$. Vậy:

$$I_1 R_x = I_2 R_2 \Rightarrow R_x = \frac{I_2}{I_1} \cdot R_2$$
$$R_x = \frac{R_2}{K} \left(K = \frac{I_1}{I_2} = \text{const} \right).$$

Vậy căn cứ vào vị trí con trượt trên biên trở R_2 ta xác định được R_x cần đo (thực tế đọc ngay kết quả).

Quá trình kiểm tra:

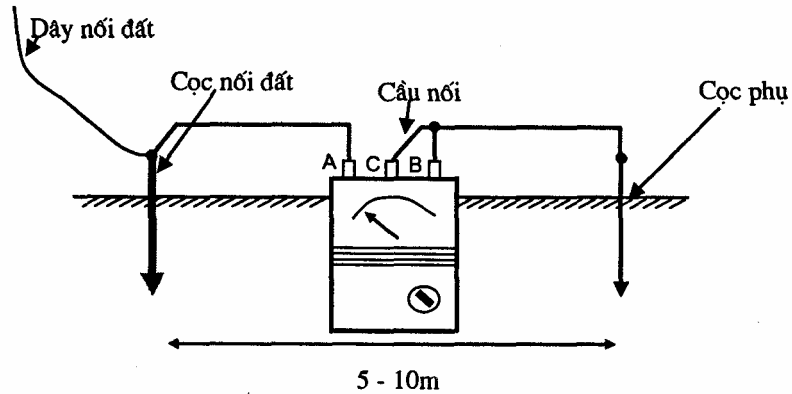
Để kiểm tra độ chính xác của dụng cụ trước khi đo, người ta đóng K_2 lên H, các cực A, B, C chưa nối, lúc này giá trị đo được chính là R_k , nếu dụng cụ chính xác giá trị đó bằng 10Ω vì R_k là điện trở mẫu có giá trị là 10Ω . Mở rộng thang đo, từ $10 \div 50\Omega$ nhờ R_3 thông qua việc đóng K_1 .

Ngày nay nhiều hãng chế tạo dụng cụ đo đã tạo ra các loại teromet gọn nhẹ dựa trên nguyên lý của phương pháp volmet - ampemet, sử dụng nguồn là phi, các chỉ thị số. Đầu ra đưa ra ba đầu nối để nối với cọc cần đo điện trở đất, và hai cọc phụ.

6.1.7.5. Đo điện trở nối đất bằng teromet - Phương pháp hai điểm

Phương pháp này có thể sử dụng để đo điện trở của cọc nối đất đơn bằng sử dụng cọc nối đất phụ có điện trở đã biết hoặc có thể đo được.

Điện trở của cọc nối đất phụ này có giá trị rất nhỏ so với giá trị điện trở của cọc nối đất cần đo và giá trị đo được coi như điện trở nối đất. Ví dụ như người ta tiến hành đo điện trở của cọc nối đất đơn cho toà nhà khi việc đóng thêm hai cọc phụ là khó khăn, thì đường ống nước có thể sử dụng như cọc nối đất phụ có giá trị điện trở nhỏ cỡ 1Ω . Giá trị này tương đối nhỏ so với điện trở của cọc tiếp đất đơn. Giá trị đo được là trị số của hai cọc nối tiếp nhau. Điện trở của các dây dẫn nối sẽ được trừ vào kết quả đo được. Sơ đồ phương pháp này cho trên Hình 6.28.



Hình 6.28. Sơ đồ đo điện trở tiếp đất hai điểm

6.2. Đo điện cảm

6.2.1. Đo điện cảm và hệ số phẩm chất cuộn dây (Q) dùng cầu xoay chiều

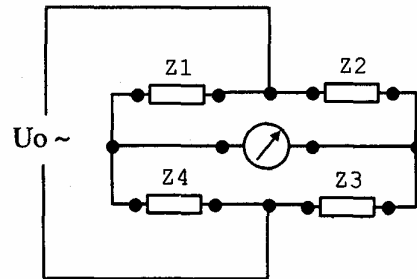
6.2.1.1. Điều kiện cân bằng cầu xoay chiều

Cầu xoay chiều là dụng cụ dựa trên cầu đơn để đo điện cảm, điện dung, góc tổn hao và hệ số phẩm chất Q.

Nguồn cung cấp là nguồn xoay chiều tần số công nghiệp ($50 \div 60\text{Hz}$), âm tần hoặc cao tần từ máy phát tần.

Chỉ thị zero là dụng cụ xoay chiều như điện kế điện tử, máy hiện sóng...

Giả thiết tổng trở phức các nhánh được viết như sau:



Hình 6.29. Cầu đo xoay chiều

$$Z_1 = z_1 e^{j\varphi_1}, \quad Z_2 = z_2 e^{j\varphi_2}, \quad Z_3 = z_3 e^{j\varphi_3}, \quad Z_4 = z_4 e^{j\varphi_4}$$

trong đó Z_1, Z_2, Z_3, Z_4 tương ứng là modul của lần lượt các nhánh và $\varphi_1, \varphi_2, \varphi_3, \varphi_4$ lần lượt là các góc pha của các nhánh cầu.

Khi cầu cân bằng ta có:

$$Z_1 Z_3 = Z_2 Z_4$$

hay:

$$z_1 z_3 e^{j\varphi_1} e^{j\varphi_3} = z_2 z_4 e^{j\varphi_2} e^{j\varphi_4}.$$

Do đó ta có điều kiện cân bằng cầu xoay chiều sau:

$$\begin{cases} z_1 z_3 = z_2 z_4 \\ \varphi_1 + \varphi_3 = \varphi_2 + \varphi_4. \end{cases}$$

Nhận xét: Từ điều kiện cân bằng cầu xoay chiều ta thấy để cầu cân bằng nếu hai nhánh đối nhau là thuần trở thì hai nhánh còn lại phải ngược tính chất (một nhánh có tính chất cảm và một nhánh có tính chất dung), còn nếu hai nhánh kề nhau là thuần trở thì hai nhánh còn lại phải có cùng tính chất. Dựa trên nhận xét này người ta đã đưa ra các sơ đồ đo điện cảm, điện dung bằng cầu xoay chiều.

6.2.1.2. Đo điện cảm và hệ số phẩm chất cuộn dây (Q) bằng cầu xoay chiều

Cuộn cảm lý 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 bao giờ cũng có một điện trở nhất định. Điện trở càng lớn phẩm chất của cuộn dây càng kém. Q là thông số đặc trưng cho phẩm chất của cuộn dây, nó được tính bằng:

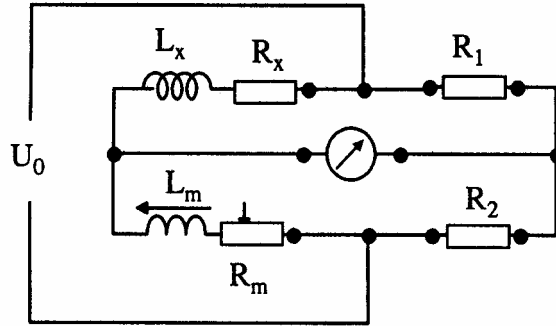
$$Q = \frac{X_L}{R_L}.$$

a) Đo điện cảm bằng cầu xoay chiều dòng điện cảm mẫu

Mạch cầu so sánh các đại lượng cần xác định L_x, R_x với đại lượng mẫu L_m và R_m .

Hai nhánh R_1, R_2 là các biến trở thuần trở có độ chính xác cao.

Khi đo người ta điều chỉnh R_m , L_m (và có thể cả R_1 , R_2) để cầu đạt giá trị cân bằng.



Hình 6.30. Đo điện cảm bằng cầu xoay chiều dùng điện cảm mẫu

Khi cầu cân bằng ta có:

$$Z_x \cdot Z_2 = Z_1 \cdot Z_m$$

với:

$$Z_x = R_x + j\omega L_x$$

$$Z_m = R_m + j\omega L_m$$

$$Z_1 = R_1$$

$$Z_2 = R_2$$

$$\Rightarrow (R_x + j\omega L_x)R_2 = (R_m + j\omega L_m)R_1$$

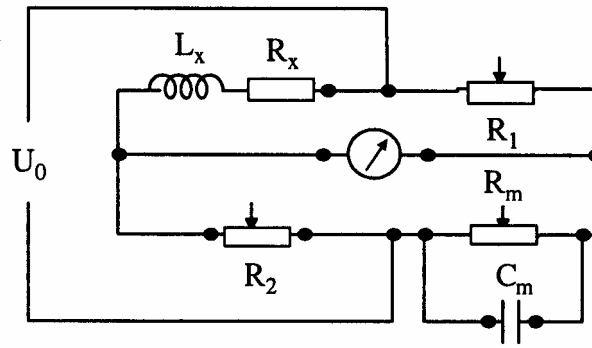
$$\Leftrightarrow \begin{cases} R_x R_2 = R_m R_1 \\ L_x R_2 = L_m R_1 \end{cases} \Leftrightarrow \begin{cases} R_x = \frac{R_1}{R_2} R_m \\ L_x = \frac{R_1}{R_2} L_m \end{cases}$$

Từ đó tính được hệ số phẩm chất của cuộn dây:

$$Q_x = \frac{\omega L_x}{R_x} = \frac{\omega L_m}{R_m}$$

b) Đo điện cảm bằng cầu điện cảm Maxwell

Trên thực tế việc chế tạo tụ điện chuẩn dễ hơn nhiều so với việc tạo cuộn dây chuẩn, do vậy người ta sử dụng tụ điện trong cầu Maxwell để đo điện cảm



Hình 6.31. Đo điện cảm bằng cầu điện cảm Maxwell

Khi cầu đạt cân bằng ta có:

$$Z_x \cdot Z_m = Z_1 \cdot Z_2$$

trong đó:

$$Z_x = R_x + j\omega L_x, Z_m = \frac{1}{\frac{1}{R_m} + j\omega C_m}, Z_1 = R_1, Z_2 = R_2$$

$$\Rightarrow (R_x + j\omega L_x) \frac{1}{\frac{1}{R_m} + j\omega C_m} = R_1 R_2$$

$$R_x + j\omega L_x = R_1 R_2 \left(\frac{1}{R_m} + j\omega C_m \right)$$

$$\Leftrightarrow \begin{cases} R_x = \frac{R_1 R_2}{R_m} \\ L_x = R_1 R_2 C_m. \end{cases}$$

Từ đó tính được

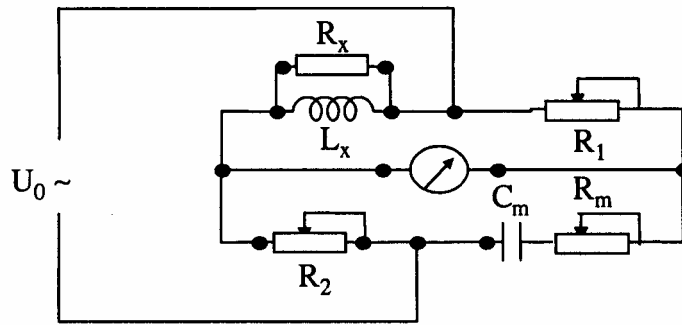
$$Q_x = \frac{\omega L_x}{R_x} = \omega C_m R_m.$$

Cầu Maxwell chỉ thích hợp đo các cuộn cảm có hệ số Q thấp.

c) *Đo điện cảm bằng cầu điện cảm Hay*

Mạch cầu này được sử dụng cho việc đo các cuộn cảm có hệ số phẩm

chất cao.



Hình 6.32. Cầu điện cảm Hay

Ta có:

$$Z_x = \frac{R_x j\omega L_x}{R_x + j\omega L_x}, \quad Z_m = R_m + \frac{1}{j\omega C_m}, \quad Z_1 = R_1, \quad Z_2 = R_2$$

$$\Rightarrow \frac{R_x j\omega L_x}{R_x + j\omega L_x} \left(R_m + \frac{1}{j\omega C_m} \right) = R_1 R_2$$

$$\Leftrightarrow \begin{cases} L_x = R_1 R_2 C_m \\ R_x = \frac{R_1 R_2}{R_m} \end{cases}$$

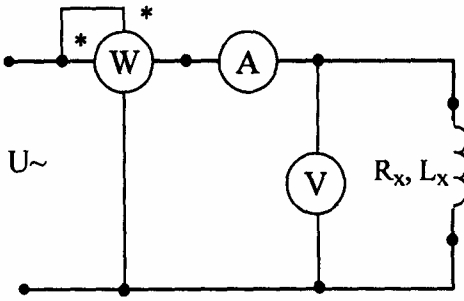
Khi đó:

$$Q_x = \frac{\omega L_x}{R_x} = \omega C_m R_m.$$

Ngoài ra, người ta còn dùng các biến thể khác của mạch cầu như mạch cầu Owen, Shering... để điện cảm.

6.2.2. Đo điện cảm bằng phương pháp gián tiếp

Có thể dùng các volmet, ampemet, wattmet để đo điện cảm và điện trở của cuộn dây theo sơ đồ sau, tuy nhiên phương pháp này mắc phải sai số lớn.



Hình 6.33. Đo điện cảm bằng phương pháp gián tiếp nguồn xoay chiều

Ta có:

$$z_x = \frac{U_v}{I_A}, R_x = \frac{P_w}{I_A^2}$$

$$L_x = \frac{1}{\omega} \sqrt{\left(\frac{U_v}{I_A}\right)^2 - \left(\frac{P}{I_A}\right)^2}$$

Nguồn cung cấp cho mạch đo là nguồn xoay chiều hình sin.

Nếu như biết trước R_x ta chỉ cần volmet và ampemet nên không phải sử dụng wattmet.

6.3. Đo điện dung và tổn thất điện môi của tụ điện bằng cầu xoay chiều

Tụ điện lý tưởng là tụ không tiêu thụ công suất (dòng điện một chiều không qua tụ) nhưng trong thực tế vẫn có thành phần dòng rò đi qua lớp điện môi vì vậy trong tụ có sự tổn hao công suất. Để đặc trưng cho sự tổn hao này người ta sử dụng thông số góc tổn hao $tg\delta$. Có hai sơ đồ thay thế tương đương của tụ:

Với tụ có tổn hao nhỏ $tg\delta = R\omega C$

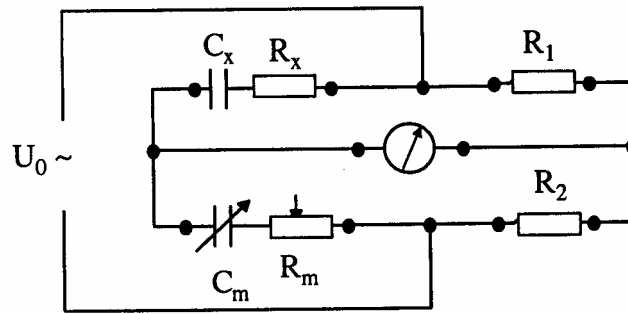
Với tụ có tổn hao lớn $tg\delta = \frac{1}{j\omega C}$

trong đó R, C là hai thành phần đại diện cho phần thuần trở và phần thuần dung của tụ điện.

6.3.1. Cầu đo điện dung của tụ điện tổn hao ít

Tụ điện có tổn hao nhỏ được biểu diễn bởi một tụ điện lý tưởng mắc

nối tiếp với một điện trở. Khi đó người ta mắc cầu như Hình 6.34.



Hình 6.34. Cầu xoay chiều đo điện dung của tụ điện tổn hao ít

C_x, R_x là nhánh tụ điện cần đo;

C_m, R_m là nhánh tụ mẫu điều chỉnh được;

R_1, R_2 là các biến trở thuần trở.

Khi cầu cân bằng ta có mối quan hệ:

$$Z_x Z_2 = Z_1 Z_m$$

với:

$$Z_x = R_x + \frac{1}{j\omega C_x}$$

$$Z_m = R_m + \frac{1}{j\omega C_m}$$

$$Z_1 = R_1$$

$$Z_2 = R_2.$$

Vậy:

$$\left(R_x + \frac{1}{j\omega C_x} \right) R_2 = R_1 \left(R_m + \frac{1}{j\omega C_m} \right)$$

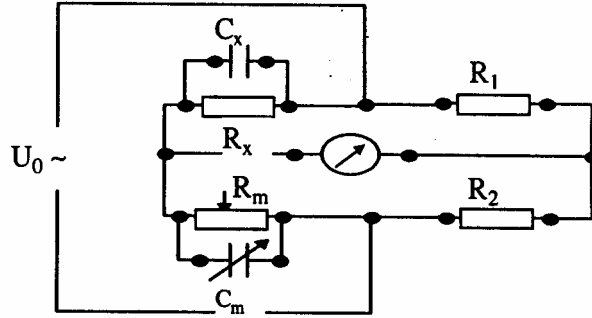
$$\Leftrightarrow \begin{cases} R_2 R_x = R_1 R_m \\ \frac{R_2}{C_x} = \frac{R_1}{C_m} \end{cases} \Leftrightarrow \begin{cases} R_x = \frac{R_1}{R_2} R_m \\ C_x = \frac{R_2}{R_1} C_m. \end{cases}$$

Góc tổn thất điện môi là:

$$\operatorname{tg}\delta = \omega R_m C_m.$$

6.3.2. Cầu đo điện dung của tụ điện tổn hao nhiều

Khi tụ có tổn hao nhiều, người ta biểu diễn nó dưới dạng một tụ điện lý tưởng mắc song song với một điện trở.



Hình 6.35. Cầu xoay chiều đo điện dung của tụ điện tổn hao nhiều

Cầu cân bằng ta có điều kiện:

$$Z_x Z_2 = Z_1 Z_m$$

với:

$$Z_x = \frac{R_x \frac{1}{j\omega C_x}}{R_x + \frac{1}{j\omega C_x}} = \frac{1}{\frac{1}{R_x} + j\omega C_x}$$

$$Z_m = \frac{R_m \frac{1}{j\omega C_m}}{R_m + \frac{1}{j\omega C_m}} = \frac{1}{\frac{1}{R_m} + j\omega C_m}$$

$$Z_1 = R_1, Z_2 = R_2.$$

Do vậy ta có:

$$\Rightarrow \frac{R_1}{\frac{1}{R_m} + j\omega C_m} = \frac{R_2}{\frac{1}{R_x} + j\omega C_x}$$

$$\Rightarrow R_1 \left(\frac{1}{R_x} + j\omega C_x \right) = R_2 \left(\frac{1}{R_m} + j\omega C_m \right)$$

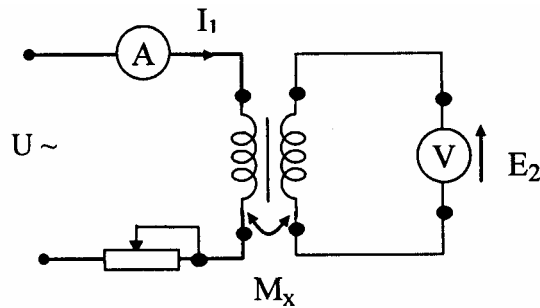
$$\Leftrightarrow \begin{cases} \frac{R_1}{R_x} = \frac{R_2}{R_m} \\ R_1 C_x = R_2 C_m \end{cases} \Leftrightarrow \begin{cases} R_x = \frac{R_1}{R_2} R_m \\ C_x = \frac{R_2}{R_1} C_m \end{cases}$$

Góc tổn thất điện môi là:

$$\operatorname{tg}\delta = \frac{1}{\omega R_m C_m}$$

6.4. Đo hệ số hồ cảm của hai cuộn dây

6.4.1. Phương pháp dùng volmet và ampemet (phương pháp vol - ampe)



Hình 6.36. Sơ đồ đo hồ cảm dùng phương pháp vol - ampe

Sức điện động E_2 là:

$$E_2 = \omega M_x I_1$$

Do vậy ta có:

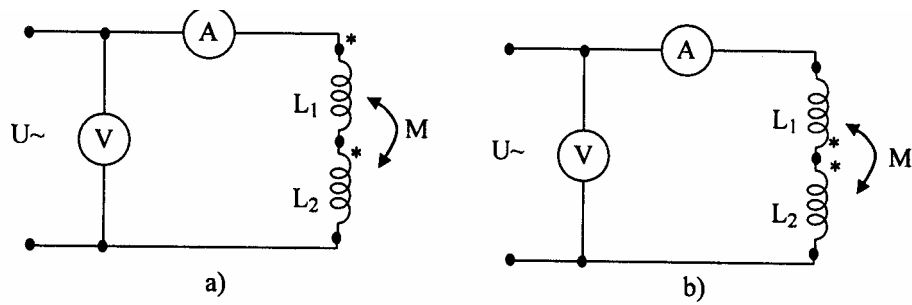
$$M_x = \frac{E_2}{\omega I_1} = \frac{U_v}{\omega I_A}$$

trong đó U_v và I_A là số chỉ đo bởi volmet và ampemet.

Nhận xét: Phương pháp này đơn giản tuy nhiên nhược điểm là mắc phải sai số lớn.

6.4.2. Phương pháp mắc nối tiếp các cuộn dây

Phương pháp này dùng cách mắc nối tiếp thuận nghịch các cuộn dây để xác định hệ số hồ cảm của chúng. Sơ đồ mắc thuận và nghịch như Hình 6.37a và 6.37b.



Hình 6.37. Đo hồ cảm bằng phương pháp nối tiếp các cuộn dây

Gọi L_1, L_2 là điện cảm của cuộn dây 1 và cuộn dây 2; M là hồ cảm giữa chúng.

Xét Hình 6.37a, ta có điện cảm tổng của nhánh là:

$$L_a = L_1 + L_2 + 2M.$$

Xét Hình 6.37b, ta có điện cảm tổng của nhánh là:

$$L_b = L_1 + L_2 - 2M.$$

Xét hiệu của hai trường hợp:

$$L_a - L_b = 4M.$$

Cho nên:

$$M = \frac{L_a - L_b}{4}.$$

Các giá trị L_a, L_b được xác định theo các số chỉ của volmet và ampemet trong từng trường hợp như sau:

$$L_a = \frac{1}{\omega} \sqrt{\left(\frac{U_{V_a}}{I_{A_a}}\right)^2 - (R_1 + R_2)^2}$$

$$L_b = \frac{1}{\omega} \sqrt{\left(\frac{U_{V_b}}{I_{A_b}}\right)^2 - (R_1 + R_2)^2}$$

trong đó: U_{V_a}, I_{A_a} là số chỉ của volmet và ampemet trong sơ đồ (a), U_{V_b}, I_{A_b} là số chỉ của volmet và ampemet trong sơ đồ (b), R_1, R_2 là điện trở các cuộn dây 1 và 2.

Phụ lục 1
Hệ đơn vị đo lường hợp pháp
(các đơn vị thường dùng trong kỹ thuật điện)








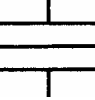
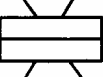

Số thứ tự	Tên đại lượng	Đơn vị trong hệ hợp pháp		Ghi chú
		Tên	Ký hiệu	
1	Chiều dài	Mét	M	
2	Khối lượng	Kilogam khối	Kg	
3	Thời gian	Giây	S	
4	Cường độ dòng điện	Ampe	A	
5	Lực	Niuton	N	
6	Tần số	Hec	Hz	
7	Công, năng lượng	Jun	J	
8	Công suất	Oát	W	
9	Điện tích	Culông	C	
10	Điện thế, điện áp, sức điện động	Vôn	V	
11	Cường độ điện trường	Vôn trên mét	V/m	
12	Điện trở	Ôm	Ω	
13	Điện dẫn	Simen	S	
14	Điện dung	Fara	F	
15	Điện cảm	Henri	H	
16	Cường độ từ trường	Ampe trên mét	A/m	
17	Từ cảm	Tesla	T	
18	Từ thông	Vebe	Wb	
19	Sức từ động	Ampe vòng	Avg	















Bội số và ước số theo đơn vị tính













Tên	Ký hiệu	Hệ số chuyển đơn vị	Tên	Ký hiệu	Hệ số chuyển đơn vị
Pico	p	10^{-12}	Deci	d	10^{-1}
Nano	n	10^{-9}	Hecto	h	100
Mili	m	10^{-3}	Kilo	k	1.000
Micro	μ	10^{-6}	Mega	xM	1.000.000
Xenti	c	10^{-2}			



Phụ lục 2

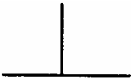
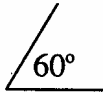

Ký hiệu quy ước dụng cụ đo lường điện và các bộ phận bổ sung

Ký hiệu quy ước trên thang chia độ của dụng cụ	Dụng cụ đo lường điện và các bộ phận bổ sung
<i>Ký hiệu theo nguyên lý tác động của dụng cụ</i>	
	Dụng cụ kiểu điện từ với khung dây động
	Logomet điện từ với hai khung dây động
	Dụng cụ từ điện với nam châm động
	Logomet từ điện với nam châm động
	Dụng cụ điện từ
	Logomet điện từ
	Dụng cụ điện từ phân cực
	Dụng cụ điện động
	Logomet điện động
	Dụng cụ sắt động

	Logomet sắt động
Ký hiệu quy ước trên thang chia độ của dụng cụ	Dụng cụ đo lường điện và các bộ phận bổ sung
	Logomet cảm ứng
	Logomet cảm ứng
	Dụng cụ cảm ứng từ
	Dụng cụ tĩnh điện
	Dụng cụ có hệ thống rung (lưới rung)
	Dụng cụ nhiệt (có sợi nung)
	Dụng cụ có thanh kim loại kép
<i>Ký hiệu bổ sung theo hình thức biến đổi</i>	
	Bộ biến đổi nhiệt có cách ly
	Bộ biến đổi nhiệt không cách ly
	Bộ chỉnh lưu bán dẫn
	Bộ chỉnh lưu cơ điện
	Bộ biến đổi điện từ
	Máy biến đổi rung kiểu xung
	Bộ biến đổi kiểu bù
<i>Ký hiệu bổ sung về bảo vệ từ trường và điện trường</i>	

	Bảo vệ từ trường bên ngoài (cấp bảo vệ loại 1)
	Bảo vệ điện trường ngoài (cấp bảo vệ loại 1)
Ký hiệu quy ước trên thang chia độ của dụng cụ	Dụng cụ đo lường điện và các bộ phận bổ sung
600 Hz	Trị số tần số f_k khi cường độ từ trường thử nghiệm bằng 400 A/M, ví dụ $f_k = 600\text{Hz}$
	Dụng cụ điện từ (cấp bảo vệ loại 1 về ảnh hưởng của từ trường)
	Dụng cụ tĩnh điện
<i>Ký hiệu về dòng điện</i>	
	Một chiều
	xoay chiều (1 pha)
	Một chiều và xoay chiều
	Dòng điện ba pha (ký hiệu chung)
	Dòng điện ba pha với tải trọng không đều ở các pha
	Dụng cụ với cơ cấu đo một phần tử
	Dụng cụ với cơ cấu đo hai phần tử
	Dụng cụ với cơ cấu đo ba phần tử đối với lưới điện 4 dây
<i>Ký hiệu cấp chính xác, cách bố trí thiết bị độ bền cách điện, v.v...</i>	
1,5	Cấp chính xác với sai số định mức theo phần trăm của giới hạn đo, ví dụ 1,5

	Cấp chính xác với sai số định mức theo phần trăm chiều dài của thang chia độ, ví dụ 1,5
	Đặt mặt chia độ nằm ngang

Ký hiệu quy ước trên thang chia độ của dụng cụ	Dụng cụ đo lường điện và các bộ phận bổ sung
	Đặt mặt chia độ nằm đứng
	Độ nghiêng của mặt thang chia độ đặt nghiêng một góc xác định so với mặt phẳng nằm ngang, ví dụ 60°
	Hướng của dụng cụ theo từ trường của Trái Đất
500 Hz	Trị số tần số định mức
400 - 500 Hz	Vùng tần số định mức
20 - 50 - (120)	Trị số tần số định mức và vùng mở rộng tần số

Phụ lục 3
Hệ phân bố Student theo giá trị xác suất

N	Hệ số phân bố Student (k_{st}) theo các giá trị xác suất P					
	0,500	0,900	0,950	0,980	0,990	0,999
2	1,000	6,310	12,700	31,800	63,700	637,000
3	0,816	2,920	4,300	6,960	9,920	31,600
4	0,765	2,350	2,350	4,540	5,840	13,000
5	0,741	2,130	2,780	3,750	4,600	8,610
6	0,727	2,020	2,570	3,360	4,030	6,860
7	0,718	1,940	2,490	3,140	3,710	5,960
8	0,711	1,900	2,360	3,000	3,500	5,400
9	0,706	1,860	2,310	2,900	3,360	5,040
10	0,703	1,830	2,260	2,820	3,250	4,780
12	0,697	1,800	2,200	2,720	3,100	4,490
14	0,694	1,770	2,160	2,650	3,010	4,220
16	0,691	1,750	2,130	2,600	2,990	4,070
18	0,689	1,740	2,110	2,570	2,900	3,960
20	0,688	1,730	2,090	2,540	2,860	3,880
25	0,684	1,710	2,060	2,490	2,800	3,740
31	0,683	1,700	2,040	2,460	2,750	3,650
41	0,681	1,680	2,020	2,420	2,700	3,550
61	0,679	1,670	2,000	2,390	2,660	3,460
121	0,677	1,650	1,980	2,360	2,620	3,370
∞	0,674	1,640	1,960	2,330	2,580	3,290

MỤC LỤC

Trang

Chương 1 KHÁI NIỆM CHUNG VỀ ĐO LƯỜNG.....	2
1.1. Định nghĩa và phân loại thiết bị.....	2
1.2. Sơ đồ cấu trúc thiết bị đo lường.....	5
1.3. Các đặc tính của thiết bị đo.....	9
1.4. Gia công kết quả đo lường.....	14
Chương 2 CÁC CƠ CẤU CHỈ THỊ.....	21
2.1. Cơ cấu chỉ thị cơ điện.....	21
2.2. Cơ cấu chỉ thị số.....	39
Chương 3 ĐO DÒNG ĐIỆN VÀ ĐIỆN ÁP.....	48
3.1. Những yêu cầu cơ bản của việc đo dòng điện và điện áp.....	48
3.2. Đo dòng điện trung bình và lớn bằng các loại ampemet.....	51
3.3. Đo dòng điện nhỏ.....	56
3.4. Đo điện áp trung bình và lớn bằng các loại volmet.....	57
3.5. Đo dòng điện và điện áp bằng phương pháp so sánh.....	60
3.6. Đo điện áp bằng các volmet chỉ thị số.....	70
Chương 4 ĐO CÔNG SUẤT VÀ NĂNG LƯỢNG.....	82
4.1. Đo công suất và năng lượng trong mạch một pha.....	82
4.2. Đo công suất và năng lượng trong mạch ba pha.....	97
Chương 5 ĐO GÓC PHA VÀ TẦN SỐ.....	106
5.1. Đo góc pha và hệ số công suất $\cos\varphi$	106
5.2. Đo tần số.....	114
5.3. Ứng dụng máy hiện sóng điện tử trong đo lường.....	119
Chương 6 ĐO CÁC THÔNG SỐ CỦA MẠCH ĐIỆN.....	131
6.1. Đo điện trở.....	131
6.2. Đo điện cảm.....	156
6.3. Đo điện dung và tổn thất điện môi của tụ điện bằng cầu xoay chiều..	161
6.4. Đo hệ số hở cảm của hai cuộn dây.....	164
Phụ lục 1 Hệ đơn vị đo lường hợp pháp.....	166
Phụ lục 2 Ký hiệu quy ước dụng cụ đo lường điện và các bộ phận bổ sung..	168
Phụ lục 3 Hệ phân bố Student theo giá trị xác suất.....	172