

CHƯƠNG 10.

ĐO CÔNG SUẤT VÀ NĂNG LƯỢNG (3 LT)

10.1. Cơ sở chung về đo công suất và năng lượng.

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

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

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

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

10.1.1. Công suất trong mạch một chiều:

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

$$P = U.I ; \quad P = I^2 R ; \quad P = \frac{U^2}{R} ; \quad P = k.q$$

trong đó: I - dòng điện trong mạch

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

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

10.1.2. Công suất tác dụng trong mạch xoay chiều một pha:

Được xác định như là giá trị trung bình của công suất trong một chu kỳ T:

$$P = \frac{1}{T} \int_0^T p dt = \frac{1}{T} \int_0^T u.i dt$$

trong đó: p, u, i là các giá trị tức thời của công suất, áp và dòng.

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

$$P = U.I.\cos \varphi$$

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

Còn đại lượng $S = U.I$ gọi là *công suất toàn phần* được coi là công suất tác dụng

khi phụ tải là thuần điện trở tức là, khi $\cos\varphi = 1$.

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

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

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

$$P = \sum_{k=1}^{\infty} P_k = \sum_{k=1}^{\infty} U_k \cdot I_k \cdot \cos\varphi_k$$

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

$$k_p = \frac{P}{S} \quad \text{và khi hình sin thì: } K_p = \cos\varphi.$$

10.1.3. Công suất tác dụng trong trường hợp quá trình có dạng xung:

Có thể đặc trưng bởi *công suất xung*, được xác định như là giá trị trung bình trong thời gian một xung τ .

$$P_x = \frac{1}{\tau} \int_0^{\tau} u.i.dt$$

và thường công suất tác dụng trong trường hợp này được xác định bằng cách đo công suất trung bình trong một chu kỳ lặp lại T của xung.

$$P = \frac{1}{T} \int_0^{\tau} u.i.dt = \frac{1}{T} \cdot P_x$$

10.1.4. Công suất tác dụng trong mạch 3 pha:

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

$$P = P_A + P_B + P_C = U_{\Phi A} I_{\Phi A} \cos\varphi_A + U_{\Phi B} I_{\Phi B} \cos\varphi_B + U_{\Phi C} I_{\Phi C} \cos\varphi_C$$

$$Q = Q_A + Q_B + Q_C = U_{\Phi A} I_{\Phi A} \sin\varphi_A + U_{\Phi B} I_{\Phi B} \sin\varphi_B + U_{\Phi C} I_{\Phi C} \sin\varphi_C$$

với: U_{Φ}, I_{Φ} : điện áp pha và dòng pha hiệu dụng

φ_C : góc lệch pha giữa dòng và áp của pha tương ứng.

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

$$W = \int_{t_1}^{t_2} P dt = \int_{t_1}^{t_2} U.I.\cos\varphi.dt$$

với: P : công suất tiêu thụ

t_1, t_2 : thời gian tiêu thụ

Trong mạch 3 pha có:

$$W = \int_{t_1}^{t_2} P_A dt + \int_{t_1}^{t_2} P_B dt + \int_{t_1}^{t_2} P_C dt$$

$$= \int_{t_1}^{t_2} U_{\Phi A} I_{\Phi A} \cos \varphi_A dt + \int_{t_1}^{t_2} U_{\Phi B} I_{\Phi B} \cos \varphi_B dt + \int_{t_1}^{t_2} U_{\Phi C} I_{\Phi C} \cos \varphi_C dt$$

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

- **Phương pháp cơ điện:** phép nhân được dựa trên cơ cấu chỉ thị như điện động, sắt điện động, tĩnh điện và cảm ứng, trong đó góc quay α của phần động là hàm của công suất cần đo.
- **Phương pháp điện:** phép nhân được thực hiện bởi các mạch nhân tương tự cũng như nhân số điện tử, tín hiệu ra của nó là hàm của công suất cần đo.
- **Phương pháp nhiệt điện:** sử dụng phương pháp biến đổi thẳng công suất điện thành nhiệt. Phương pháp này thường được ứng dụng khi cần đo công suất và năng lượng trong mạch tần số cao cũng như của nguồn laser.
- **Phương pháp so sánh:** là phương pháp chính xác vì thế nó thường được sử dụng để đo công suất trong mạch xoay chiều tần số cao.

10.2. Đo công suất trong mạch một chiều và xoay chiều một pha.

Có các phương pháp đo cơ bản sau:

- **Đo theo phương pháp cơ điện:**
 - Watmet điện động
 - Watmet sắt điện động
- **Đo theo phương pháp điện:**
 - Watmet chỉnh lưu điện tử
 - Watmet dùng chuyển đổi Hall
 - Watmet dùng phương pháp nhiệt điện
 - Watmet dùng phương pháp điều chế

10.2.1. Đo theo phương pháp cơ điện:

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

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

Với watmet điện động có thể đạt tới cấp chính xác là $0,01 \div 0,1$ với tần số dưới 200Hz và trong mạch một chiều, ở tần số từ 200Hz ÷ 400Hz thì sai số đo là 0,1% và hơn nữa. Với watmet sắt điện động với tần số dưới 200Hz sai số đo là $0,1 \div 0,5$ % còn với tần số từ 200Hz ÷ 400Hz thì sai số đo là 0,2 % và hơn nữa.

Đo trực tiếp công suất bằng watmet điện động: để đo công suất tiêu thụ trên phụ tải R_L ta mắc watmet điện động như ở hình 10.1. Trong đó ở mạch nối tiếp với

một điện trở phụ R_p . Cuộn tĩnh và cuộn động được nối với nhau ở hai đầu có đánh dấu *.

Đo công suất trong mạch một chiều bằng watmet điện động:

Góc lệch của kim chỉ của Watmet được tính theo biểu thức sau:

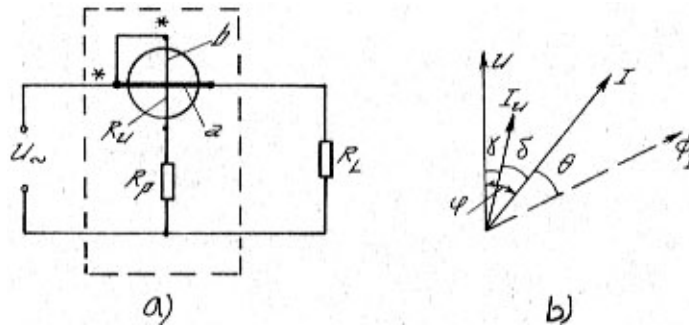
$$\alpha = \frac{1}{D} \cdot \frac{U \cdot I}{R_u + R_p} \cdot \frac{dM_{12}}{d\alpha}$$

Để cho thang đo của watmet đều yêu cầu $dM_{12}/d\alpha$ phải không đổi. Điều này phụ thuộc vào hình dáng, kích thước và vị trí ban đầu của cuộn dây.

Nếu $dM_{12}/d\alpha = \text{const}$ thì:

$$\alpha = s \cdot (U \cdot I) = s \cdot P$$

với: $s = \frac{1}{D} \cdot \frac{1}{R_u + R_p} \cdot \frac{dM_{12}}{d\alpha}$ là độ nhạy của Watmet theo dòng một chiều.



Hình 10.1. Đo công suất bằng watmet điện động

Đo công suất trong mạch xoay chiều một pha bằng watmet điện động:

$$\alpha = \frac{1}{D} \cdot I \cdot I_u \cdot \cos \delta \cdot \frac{dM_{12}}{d\alpha}$$

Nếu $dM_{12}/d\alpha = \text{const}$ thì:

$$\alpha = s \cdot U \cdot I \cdot \cos(\varphi - \gamma) \cdot \cos \gamma$$

Từ biểu thức trên thấy số chỉ của watmet tỉ lệ với công suất khi $\gamma = 0$ hoặc khi $\gamma = \varphi$.

Điều kiện thứ nhất $\gamma = 0$ có thể đạt được bằng cách tạo ra cộng hưởng điện áp trong mạch song song (ví dụ bằng cách mắc tụ C song song với điện trở R_p). Nhưng cộng hưởng chỉ giữ được khi tần số không đổi, còn nếu tần số thay đổi thì điều kiện $\gamma = 0$ bị phá vỡ.

Sai số góc: khi $\gamma \neq 0$ thì watmet đo công suất với một sai số β_γ gọi là sai số góc:

$$\beta_\gamma = \frac{P' - P}{P} = \frac{\cos(\varphi - \gamma) - \cos \varphi}{\cos \varphi} = \cos \gamma + \tan \varphi \cdot \sin \gamma - 1$$

Trong hầu hết các watmet sai số này tăng khi $\cos \varphi$ giảm, thường thì góc γ rất nhỏ do đó mà $\cos \gamma \approx 1$ và $\sin \gamma \approx \gamma$ như vậy:

$$\beta_\gamma \approx \gamma \cdot \tan \varphi$$

Khi $\varphi = \pi/2$ thì $\beta_\gamma \rightarrow \infty$, vì vậy thay cho sai số tương đối thường dùng sai số tương

đối quy đối:

$$\beta_m = \frac{\cos(\varphi - \gamma) - \cos \gamma}{\cos \varphi_n} \approx \frac{\cos \varphi + \gamma \cdot \sin \varphi}{\cos \varphi_n}$$

với: $\cos \varphi_n$ là hệ số $\cos \varphi$ quy chuẩn cho loại watmet được sử dụng.

Ở watmet sắt điện động sai số góc còn phụ thuộc vào góc θ là góc lệch giữa dòng điện I và từ thông Φ_1 (H. 10.1b), vì vậy sai số này thường lớn hơn ở watmet điện động.

Điều kiện thứ hai là $\gamma = \varphi$ không thực hiện được vì dòng điện trong cuộn áp I_u không bao giờ trùng pha với dòng điện I trong cuộn dòng.

Sai số của phép đo còn xảy ra do sự tiêu thụ công suất trên các cuộn dây của watmet.

Chú ý khi đo công suất bằng watmet điện động:

- **Đấu nối đúng các đầu cuộn dây:** trên watmet bao giờ cũng có những ký hiệu ngôi sao (*) ở đầu các cuộn dây gọi là đầu phát, khi mắc watmet phải chú ý nối các đầu có ký hiệu đầu (*) với nhau như ở hình 10.1.
- **Đọc và tính chỉ số của watmet điện động:** thường watmet điện động có nhiều thang đo theo dòng và áp (theo dòng: 5A, 10A; theo áp: 30V, 150V, 300V), những giá trị này là dòng và áp định mức I_N và U_N .

Để đọc được số chỉ của watmet trước tiên phải tính hằng số watmet C :

$$C = \frac{U_N \cdot I_N}{\alpha_m}$$

với: α_m là giá trị cực đại của độ chia trên thang đo của watmet.

hoặc đối với watmet đặc biệt có tính đến giá trị của $\cos \varphi_n$ thì:

$$C = \frac{U_{dm} \cdot I_N \cdot \cos \varphi_n}{\alpha_m}$$

với: $\cos \varphi_{dm}$ được ghi ở trên mặt watmet.

Sau khi tính được C ta chỉ việc nhân với số chỉ α của watmet thì biết được giá trị của công suất cần đo.

10.2.2. Đo theo phương pháp điện:

Khi đo công suất trong mạch một chiều và xoay chiều một pha theo phương pháp điện thì phép nhân được thực hiện bởi mạch nhân điện tử tương tự và số. Tín hiệu ra của chúng là hàm của công suất cần đo.

Các phương pháp đo công suất bằng phương pháp điện phổ biến gồm:

- Đo công suất bằng watmet chỉnh lưu điện tử
- Đo công suất watmet dùng chuyển đổi Hall
- Đo công suất bằng phương pháp nhiệt điện
- Đo công suất bằng phương pháp điều chế tín hiệu

Sau đây sẽ tiến hành xét từng phương pháp cụ thể:

Đo công suất bằng watmet chỉnh lưu điện tử: mạch nguyên lý của một watmet

chỉnh lưu điện tử với mạch bình phương được thực hiện bằng một điốt bán dẫn như hình 10.2. Watmet có hai điện trở trong mạch dòng là $R_{S1} = R_{S2}$ có giá trị của nhỏ hơn rất nhiều so với tổng trở tải Z_L và hai điện trở R_3 và R_4 trong mạch áp. Các điện trở R_3 và R_4 thực hiện vai trò của mạch phân áp vì vậy $(R_3 + R_4)$ lớn hơn rất nhiều điện trở tải Z_L .

Điện áp rơi trên các điện trở sun $R_{S1} = R_{S2}$ tỉ lệ với dòng tải $k_1 i$. Điện áp rơi trên điện trở R_3 của mạch phân áp tỉ lệ với điện áp rơi trên phụ tải $k_2 u$.

Theo mạch điện thì điện áp u_1 và u_2 trên các điốt D_1 và D_2 sẽ tương ứng là :

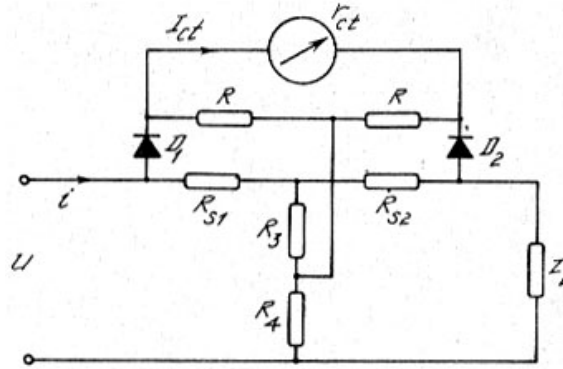
$$u_1 = k_2 u + k_1 i$$

$$u_2 = k_2 u - k_1 i$$

Khi đặc tính của các điốt như nhau và làm việc trên đoạn bình phương của đặc tính vôn.ampe (dòng tỉ lệ với bình phương điện áp):

$$i_1 = \beta \cdot u_1^2 = \beta \cdot (k_2 u + k_1 i)^2$$

$$i_2 = \beta \cdot u_2^2 = \beta \cdot (k_2 u - k_1 i)^2$$



Hình 10.2. Mạch nguyên lý của một watmet chỉnh lưu điện tử với mạch bình phương dòng qua cơ cấu chỉ thị sẽ là:

$$i_{ct} = (i_1 - i_2) \cdot \frac{R}{r_{ct}}$$

Thay i_1, i_2 vào biểu thức i_{ct} có:

$$\begin{aligned} i_{ct} &= \frac{R}{r_{ct}} \cdot \beta \cdot [(k_2 u + k_1 i)^2 - (k_2 u - k_1 i)^2] \\ &= 4k_1 \cdot k_2 \cdot \frac{R}{r_{ct}} \cdot \beta \cdot u \cdot i = k \cdot u \cdot i \end{aligned}$$

với: $k = 4k_1 \cdot k_2 \cdot \frac{R}{r_{ct}} \cdot \beta$

Giả sử $u = U_m \sin \omega t$, $i = I_m \sin(\omega t \pm \varphi)$. Dòng đi qua cơ cấu chỉ thị từ điện sẽ là dòng trung bình tỉ lệ với công suất tác dụng:

$$i_{ct} = \frac{1}{T} \int_0^T k \cdot u \cdot i \cdot dt = \frac{k}{T} \int_0^T u \cdot i \cdot dt = k \cdot U \cdot I \cdot \cos \varphi = k \cdot P$$

với P là công suất cần đo. Như vậy đọc kết quả của cơ cấu chỉ thị từ điện sẽ suy ra được công suất cần đo.

Các đặc điểm cơ bản của watmet chỉnh lưu điện tử dùng điốt: có độ chính xác không cao (chủ yếu là do đặc tính của các điốt không giống nhau). Sai số cỡ $\pm 1,5\div 6\%$. Độ nhạy thấp, công suất tiêu thụ lớn. Dải tần tín hiệu khoảng vài chục kHz.

Đo công suất watmet dùng chuyển đổi Hall: chuyển đổi Hall là một mạng bốn cửa được chế tạo dưới dạng một tấm mỏng bằng bán dẫn, có cấu tạo như hình 10.3.

Hai cực dòng kí hiệu là T-T của chuyển đổi được mắc vào nguồn điện một chiều hoặc xoay chiều.

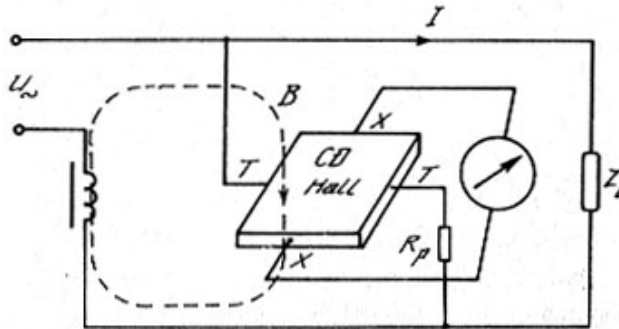
Hai cực áp kí hiệu là X-X. Khi đặt vuông góc với bề mặt chuyển đổi một từ trường thì xuất hiện ở hai đầu X-X một thế điện động gọi là *thế điện động Hall* được tính như sau:

$$e_x = k_x \cdot B \cdot i_x$$

với: k_x : là hệ số mà giá trị của nó phụ thuộc vào vật liệu, kích thước và hình dáng của chuyển đổi, ngoài ra còn phụ thuộc vào nhiệt độ của môi trường xung quanh và giá trị của từ trường.

B : là độ từ cảm của từ trường.

Như vậy thế điện động Hall sẽ tỉ lệ với công suất nếu như một trong hai đại lượng trên (ví dụ B) tỉ lệ thuận với điện áp u , còn dòng i_x là dòng qua phụ tải.



Hình 10.3. Sơ đồ nguyên lý của watmet dùng chuyển đổi Hall

Thực hiện một watmet bằng chuyển đổi Hall bằng cách đặt chuyển đổi vào khe hở của một nam châm điện. Dòng điện đi qua cuộn hút L của nó chính là dòng điện đi qua phụ tải Z_L . Còn ở hai cực T-T có dòng điện tỉ lệ với điện áp đặt lên phụ tải Z_L . Điện trở phụ R_p để hạn chế dòng. Hướng của từ trường được chỉ bởi đường chấm chấm (H. 10.3):

Thế điện động Hall lúc đó sẽ được tính:

$$e_x = k \cdot u \cdot i = k \cdot P$$

với e_x được đo bằng milivônmet; k là hệ số tỉ lệ.

Đặc điểm của watmet với chuyển đổi Hall: cho phép đo công suất xoay chiều với tần số đến hàng trăm MHz.

Ưu điểm: không có quán tính, có cấu tạo đơn giản, bền, tin cậy.

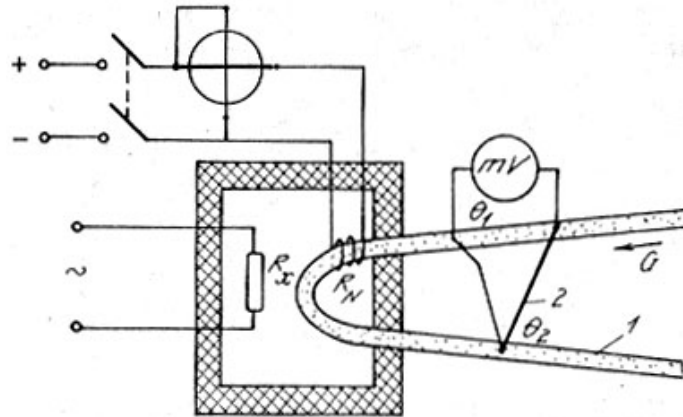
Nhược điểm: có sai số do nhiệt độ lớn.

Đo công suất bằng phương pháp nhiệt điện: gồm có watmet nhiệt điện và watmet nhiệt lượng kế.

Watmet nhiệt điện: có nguyên lý hoạt động gần giống watmet chỉnh lưu điện tử, chỉ khác là thay thế các điốt bằng các chuyển đổi cặp nhiệt để tạo ra các bộ bình phương. Hiệu điện thế động sinh ra ở các đầu tự do (đầu lạnh) của các chuyển đổi được đo bởi một milivônmet từ điện. Điện áp này tỉ lệ với công suất trung bình tiêu thụ trên một phụ tải.

Ứng dụng của watmet nhiệt điện: thường để đo công suất trong mạch có dòng và áp không phải hình sin, tần số có thể lên tới 1MHz; đo công suất trong mạch có sự chênh lệch pha lớn giữa dòng và áp. Ngoài ra còn dùng để xác định sai số do tần số của các vônmet điện động.

Watmet nhiệt lượng kế: được chế tạo theo nguyên tắc xác định công suất theo sự thay đổi nhiệt độ của môi trường nhiệt lượng kế (H.10.4):



Hình 10.4. Sơ đồ nguyên lý của watmet nhiệt lượng kế

Công suất P_x do phụ tải R_x tiêu thụ được xác định theo hiệu nhiệt độ của chất lỏng 1 (vật mang nhiệt) ở đầu ra và đầu vào của nhiệt lượng kế. Hiệu nhiệt độ này được đo bằng cặp nhiệt 2 và milivônmet khi lưu lượng chất lỏng luôn không đổi. Từ đó có biểu thức:

$$P_x = C.G. (\theta_2 - \theta_1)$$

với : C : dung lượng nhiệt thể tích riêng của chất lỏng, được tính bằng $\text{Jun}/(\text{m}^3 \cdot \text{K})$

G : lưu lượng thể tích của chất lỏng m^3/s

θ_1, θ_2 : nhiệt độ của chất lỏng ở đầu vào và đầu ra của nhiệt lượng kế.

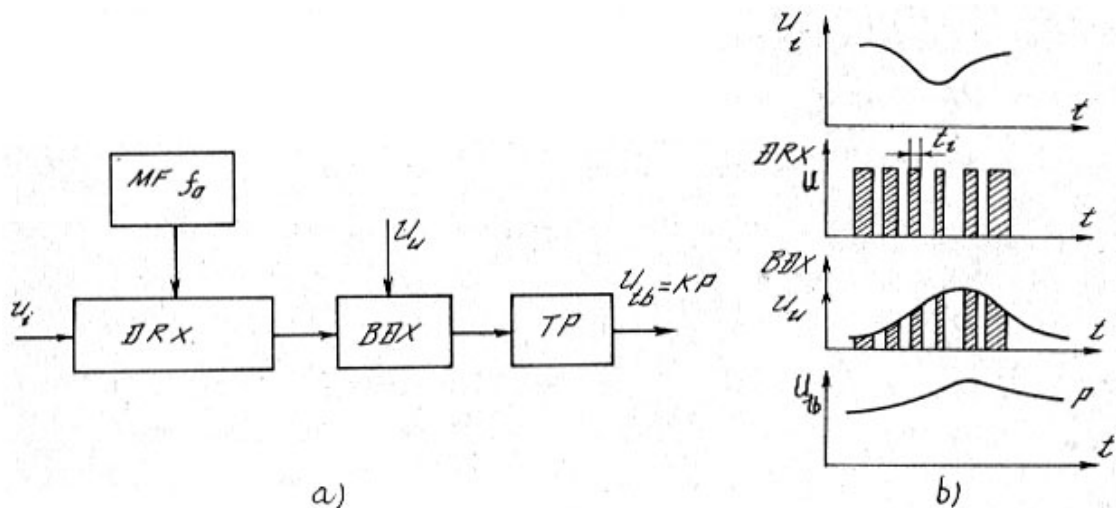
Đặc điểm của phương pháp nhiệt lượng kế: thường bị sai số do sự thay đổi của nhiệt độ môi trường xung quanh cũng như do độ biến động của các đặc tính nhiệt và nhiệt độ của vật mang nhiệt (chất lỏng).

Để nâng cao độ chính xác của watmet nhiệt lượng kế thường sử dụng các biện pháp cách nhiệt hay tự động giữ cho nhiệt độ của các bức tường của nhiệt lượng kế bằng nhiệt độ của môi trường bên trong nhiệt lượng kế.

Đo công suất bằng phương pháp điều chế tín hiệu: phương pháp điều chế tín hiệu dựa trên việc nhân các tín hiệu u_u (tỉ lệ với điện áp trên tải cần đo) và u_i (tỉ lệ với dòng điện trên tải cần đo) trên cơ sở điều chế hai lần tín hiệu xung. Các tín hiệu tương tự u_u và u_i được biến đổi thành tần số, chu kì, biên độ, độ rộng của tín hiệu xung sau đó lấy tích phân. Thông dụng nhất là kết hợp giữa các loại điều chế sau đây:

- Điều chế độ rộng xung với điều chế biên độ xung: (ĐRX-BĐX).
- Điều chế độ rộng xung với tần số xung : (ĐRX-TSX).
- Điều chế tần số xung và biên độ xung: TSX-BĐX.

Xét watmet dựa trên phương pháp ĐRX-BĐX: có sơ đồ cấu trúc như hình 10.5a và nguyên lý như hình 10.5b:



Hình 10.5. Watmet theo phương pháp điều chế độ rộng xung với điều chế biên độ xung (ĐRX-BĐX):

a) Sơ đồ khối

b) Biểu đồ thời gian

Tín hiệu vào u_i được điều chế thành độ rộng t của xung (ĐRX) được phát ra từ máy phát tần số chuẩn $f_0 = 1/T_0$. Ở đầu ra của điều chế ĐRX có các xung với độ rộng $t_i = k.u_i$, tín hiệu này sẽ được đặt vào bộ điều chế biên độ xung BĐX và được điều chế biên độ bằng tín hiệu $u_u(t)$.

Khi $T_0 \rightarrow 0$ thì diện tích của mỗi xung ở đầu ra của bộ điều chế biên độ tỉ lệ với công suất tức thời :

$$S(t) = u_u t_i = k.u_u u_i$$

Như vậy điện áp ra của bộ tích phân (TP) sẽ có giá trị tỉ lệ với công suất trung bình P (H.10.5b).

Sai số của các watmet sử dụng các cặp điều chế là ở chỗ độ dài của chu kì điều chế bị hạn chế. Điều này làm cho dải tần bị hạn chế.

Ví dụ: với $T_0 = 5\mu s$ và tần số của các tín hiệu vào là $10kHz$ thì sai số của watmet điều chế ĐRX-BĐX cỡ khoảng 0,1%.

Ở Nhật Bản phương pháp điều chế đã được sử dụng để chế tạo chuẩn đơn vị công suất điện trong khoảng tần số từ 40Hz đến 10.00Hz có độ chính xác cao với sai số hệ thống từ $0,01 \pm 0,2\%$.

10.3. Đo năng lượng trong mạch xoay chiều một pha, công tơ một pha.

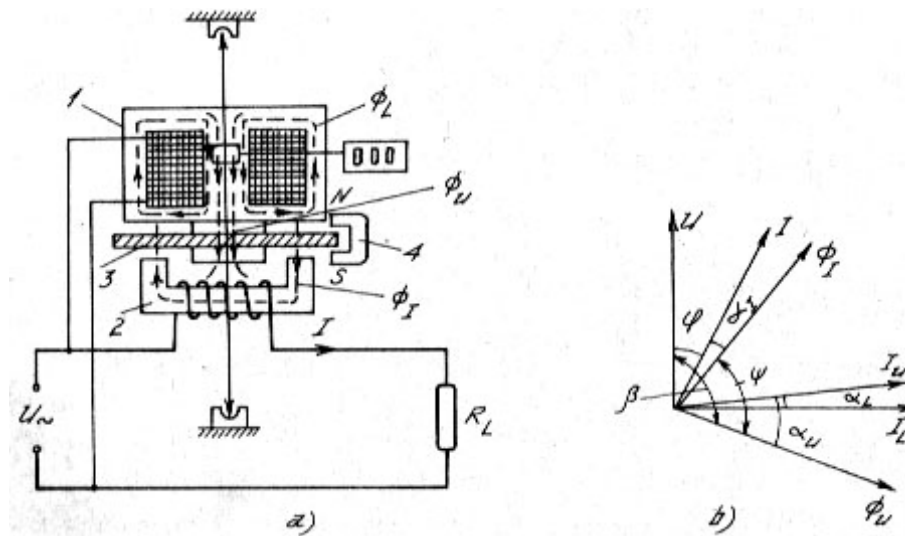
Năng lượng trong mạch xoay chiều một pha được tính:

$$W = \int_{t_1}^{t_2} P dt = \int_{t_1}^{t_2} UI \cos \varphi dt$$

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

$t = t_2 - t_1$ là khoảng thời gian tiêu thụ của tải.

Dụng cụ đo để đo năng lượng là công tơ. Công tơ được chế tạo dựa trên cơ cấu chỉ thị cảm ứng. Hình 10.6 chỉ rõ sơ đồ cấu tạo của một công tơ một pha dựa trên cơ cấu chỉ thị cảm ứng:



Hình 10.6. sơ đồ cấu tạo của một công tơ một pha dựa trên cơ cấu chỉ thị cảm ứng

10.3.1. Công tơ một pha:

Cấu tạo: như hình 10.6a, gồm các bộ phận chính:

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

Nguyên lý làm việc: khi có dòng điện I chạy trong phụ tải, qua cuộn dòng tạo ra

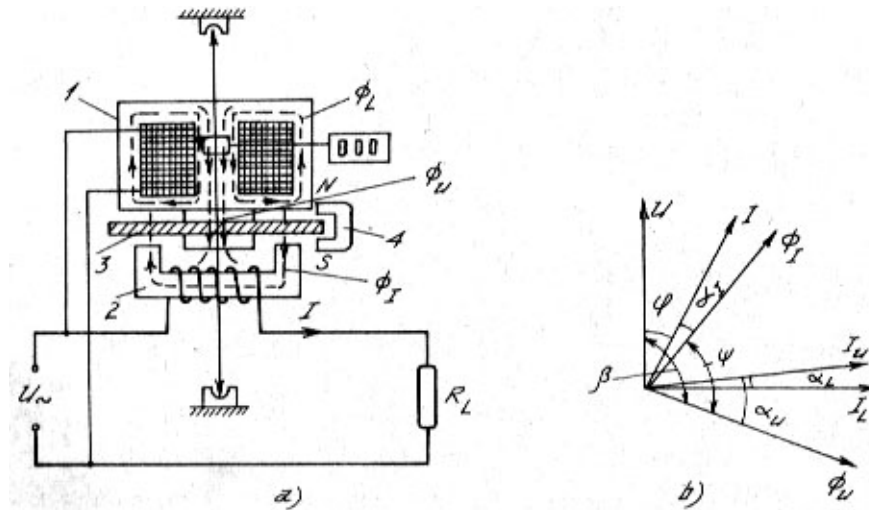
từ thông Φ_I cắt đĩa nhôm hai lần. Đồng thời điện áp U được đặt vào cuộn áp sinh ra dòng I_u , dòng này chạy trong cuộn áp tạo thành hai từ thông:

- Φ_U : là từ thông làm việc, xuyên qua đĩa nhôm
- Φ_I : không xuyên qua đĩa nhôm do vậy mà không tham gia việc tạo ra mômen quay.

Từ sơ đồ vectơ như hình 10.6b có:

$$\Phi_I = k_I \cdot I ; \quad \Phi_U = k_U \cdot I_U = k_U \cdot \frac{U}{Z_U}$$

với: k_I, k_U : là hệ số tỉ lệ về dòng và áp; Z_u : là tổng trở của cuộn áp



Hình 10.6. Công tơ một pha:

a) Sơ đồ cấu tạo

b) Biểu đồ vectơ

vì cuộn áp có điện trở thuần nhỏ so với điện kháng của nó cho nên:

$$Z_u \approx X_u = 2\pi \cdot f \cdot L_u \Rightarrow \Phi_U = \frac{k_u \cdot U}{2\pi \cdot f \cdot L_u} = k_u \cdot \frac{U}{f}$$

suy ra mômen quay của cơ cấu chỉ thị cảm ứng được tính:

$$\begin{aligned} M_q &= C \cdot f \cdot \Phi_I \cdot \Phi_U \cdot \sin \Psi = C \cdot f \cdot (k_I \cdot I) \cdot \left(k_u \cdot \frac{U}{f}\right) \cdot \sin \Psi \\ &= (C \cdot k_I \cdot k_U) \cdot U \cdot I \cdot \sin \Psi = k \cdot U \cdot I \cdot \sin \Psi \end{aligned}$$

với: $k = C \cdot k_I \cdot k_U$; Ψ : góc lệch pha giữa Φ_I và Φ_U

Từ biểu đồ vectơ (H. 10.6b) có: $\Psi = \beta - \alpha_I - \varphi$. Như vậy nếu $\theta = \beta - \alpha_I = \pi/2$ thì $\Psi = \pi/2 - \varphi$, lúc đó mômen được tính là:

$$M_q = k \cdot U \cdot I \cdot \cos \varphi = k \cdot P$$

tức là mômen quay tỉ lệ với công suất.

Để thực hiện điều kiện $\theta = \beta - \alpha_I = \pi/2$ ta có thể điều chỉnh góc β , tức là điều chỉnh Φ_u bằng cách thay đổi vị trí sun từ của cuộn áp; hoặc điều chỉnh góc α_I , tức là

điều chỉnh Φ_1 bằng cách thêm hoặc bớt vòng ngắn mạch của cuộn dòng. Để kiểm tra điều kiện này người ta tạo ra một phụ tải ảo có $\cos \varphi = 0$ (thường dùng bộ điều chỉnh pha) lúc đó:

$$M_q = k.U.I.\cos \varphi = k.P = 0$$

thì công tơ phải đứng yên. Nếu công tơ còn quay thì chứng tỏ rằng điều kiện trên chưa đạt, phải tiếp tục điều chỉnh β hoặc α_1 .

Mômen quay M_q làm cho đĩa nhôm quay. Đĩa quay trong từ trường của nam châm vĩnh cửu 4, nó bị hãm lại và khi mômen hãm bằng mômen quay thì đĩa sẽ quay đều với tốc độ n_0 (vòng/s).

Mômen hãm sinh ra do từ thông của nam châm vĩnh cửu Φ_M và dòng điện xoáy sinh ra ở trong đĩa nhôm I_M :

$$M_C = k_1.\Phi_M.I_M$$

mà $I_M = k_2.\Phi_M.n_0$ vậy:

$$M_C = k_3.\Phi_M^2.n_0$$

khi cân bằng có:

$$M_q = M_C \Leftrightarrow k.P = k_3.\Phi_M^2.n_0$$

Sau một thời gian $t = t_2 - t_1$ đĩa quay được N vòng tức là $n_0 = N/t$ suy ra:

$$N = C_p P.t = C_p.W$$

nghĩa là số vòng của công tơ sau một thời gian t tỉ lệ với năng lượng W tiêu thụ của phụ tải trong thời gian ấy.

C_p được gọi là *hằng số công tơ*: $C_p = \frac{N}{W}$ [vòng/kWh]

là số vòng của công tơ khi tiêu hao công suất là 1kW trong 1 giờ.

Số chỉ này của năng lượng sẽ được ghi lại bởi một hộp số cơ học trên mặt công tơ.

Sai số của công tơ được tính như sau :

$$\beta_w \% = \frac{W_N - W_{do}}{W_{do}} = \frac{C_{PN} - C_{pdd}}{C_{pdd}}$$

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

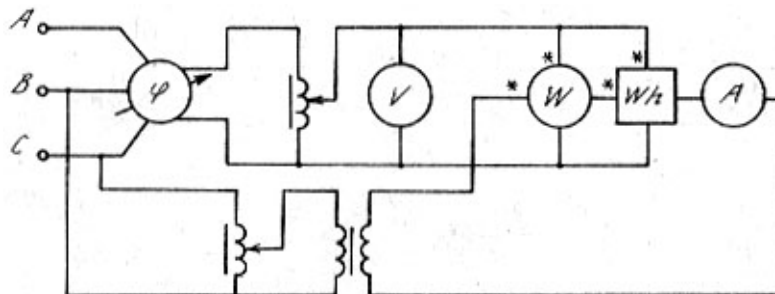
W_{do}, C_{pdo} : là năng lượng và hằng số công tơ đo được.

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

10.4.2. Kiểm tra công tơ:

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

Để kiểm tra công tơ ta phải mắc chúng theo sơ đồ hình 10.7:



Hình 10.7. Sơ đồ kiểm tra công tơ

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

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

Việc kiểm tra công tơ theo các bước sau đây:

1. *Điều chỉnh tự quay của công tơ*: điều chỉnh L_2 , đặt điện áp vào cuộn áp của watmet và công tơ bằng điện áp định mức $U = U_N$; điều chỉnh L_1 sao cho dòng điện vào cuộn dòng của watmet và công tơ bằng không $I = 0$, lúc này watmet chỉ 0 và công tơ phải đứng yên. Nếu công tơ quay thì đó là hiện tượng tự quay của công tơ. Nguyên nhân của hiện tượng này là khi chế tạo để thắng được lực ma sát bao giờ cũng phải tạo ra một mômen bù ban đầu, nếu mômen này quá lớn (lớn hơn mômen ma sát giữa trục và trụ) thì xuất hiện hiện tượng tự quay của công tơ.

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

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

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

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

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

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

$$C_p = \frac{N}{U_N I_N t} = \frac{N}{P_N t}$$

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

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

Trong thực tế đôi khi người ta sử dụng một đại lượng nghịch đảo với hằng số C_p

đó là hằng số k:

$$k = \frac{1}{C_p} = \frac{P.t}{N} \left[\frac{\text{kWh}}{\text{so vong}} \right]$$

Để thuận tiện, trên hộp số người ta tính toán để cho $k = 1\text{kWh}/1$ số, sẽ dễ dàng cho người dùng.

Nếu C_p (hoặc k) không bằng giá trị định mức đã ghi trên mặt công tơ thì ta phải điều chỉnh vị trí của nam châm vĩnh cửu để tăng (hoặc giảm) mômen cản M_c cho đến khi C_p (hoặc k) đạt được giá trị định mức.

Sai số của công tơ được tính như sau :

$$\gamma_c \% = \frac{C_N - C_{do}}{C_{do}} \cdot 100(\%) \quad \text{hoặc} \quad \gamma_k \% = \frac{k_N - k_{do}}{k_{do}} \cdot 100(\%)$$

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

10.4.3. Công tơ điện tử:

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

$$U_1 = k_1 I$$

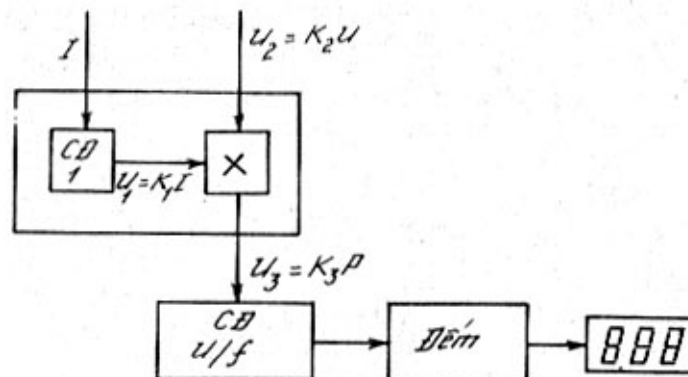
một điện áp khác tỉ lệ với điện áp đặt vào U:

$$U_2 = k_2 U$$

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

$$U_3 = k_3 P$$

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



Hình 10.8. Sơ đồ khối nguyên lý của công tơ điện tử

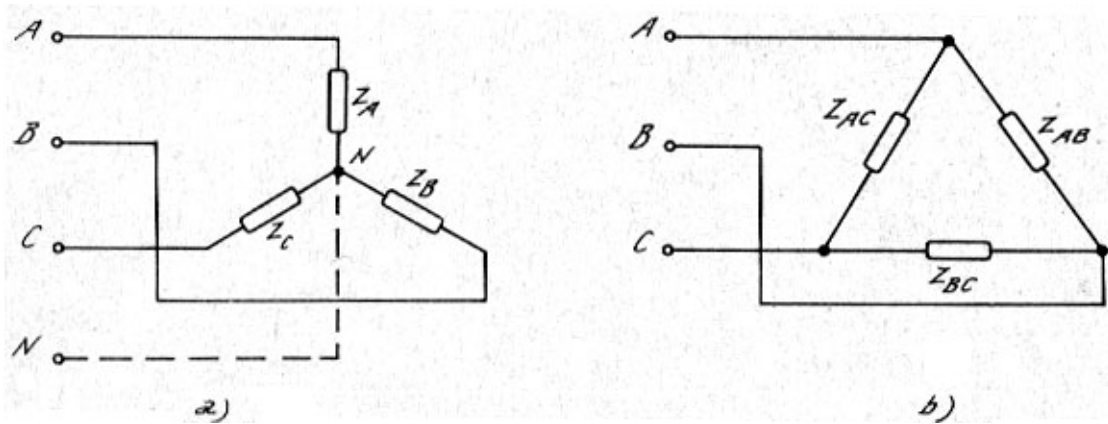
Tất cả các bộ biến đổi trên đây đều thực hiện bằng mạch điện tử. Công tơ điện tử có thể đạt tới cấp chính xác 0,5.

10.4. Đo công suất trong mạch 3 pha.

10.5.1. Nguyên lý chung:

Trong mạch điện 3 pha, phụ tải thường được mắc theo hai cách: phụ tải mắc *hình sao* hoặc phụ tải mắc *hình tam giác*.

Đối với phụ tải hình sao có thể không có dây trung tính (nghĩa là mạch chỉ có 3 dây) hoặc có dây trung tính (tức là mạch có 4 dây) (H. 10.9a):



Hình 10.9. Các cách mắc phụ tải trong mạch 3 pha:

a) Mắc hình sao

b) Mắc hình tam giác

Về nguyên tắc có thể biến đổi từ hình sao ra hình tam giác được (sơ đồ tương đương) và ngược lại.

Phụ tải ở đây có thể đối xứng (ở cả 3 dây đều như nhau) hoặc không đối xứng. Trong thực tế phụ tải thường không đối xứng nhưng khi vận hành lưới điện người ta cố gắng tạo ra phụ tải đối xứng (hay gần đối xứng) như thế sẽ có lợi nhất cho máy phát và cho lưới điện.

Để thực hiện lưới đo công suất tổng trong mạch 3 pha, ta xét trường hợp chung là mạch 3 pha 3 dây. Ví dụ: tải hình sao không có dây trung tính (H. 10.9a), phụ tải bất kỳ (đối xứng hay không đối xứng):

Các điện áp u_{AB} , u_{BC} , u_{AC} là các giá trị tức thời của điện áp dây; u_{AN} , u_{BN} , u_{CN} là các giá trị tức thời của điện áp pha; i_A , i_B , i_C là các giá trị tức thời của dòng điện pha.

Ta có thể viết các phương trình sau đây :

$$i_A + i_B + i_C = 0; \quad P_{\Sigma} = u_{AN}i_A + u_{BN}i_B + u_{CN}i_C$$

suy ra:

$$\begin{aligned} P_{\Sigma} &= u_{AN}i_A + u_{BN}i_B - u_{CN}i_A - u_{CN}i_B \\ &= i_A \cdot (u_{AN} - u_{CN}) + i_B \cdot (u_{BN} + u_{CN}) \\ &= i_A \cdot u_{AC} + i_B \cdot u_{BC}. \end{aligned}$$

Dựa vào kết quả này công suất của mạch 3 pha có thể viết theo một trong 3 công thức sau đây :

$$P_{\Sigma} = u_{AC}i_A + u_{BC}i_B; \quad P_{\Sigma} = u_{AB}i_A + u_{CB}i_C; \quad P_{\Sigma} = u_{BA}i_B + u_{CA}i_C.$$

Như vậy trong mạch 3 pha sử dụng điện áp dây và dòng điện pha ta có thể chỉ sử dụng hai watmet là đủ.

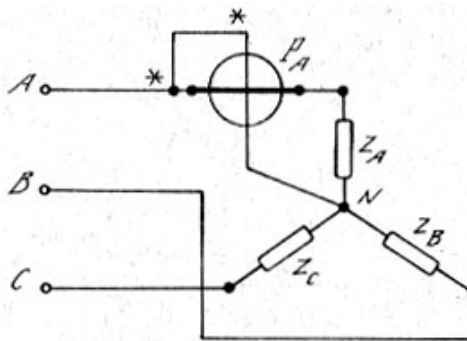
Chứng minh trên đây phù hợp với tải bất kỳ và mạch chỉ có 3 dây (tải hình sao hay hình tam giác không có dây trung tính). Từ đó ta có thể rút ra các phương pháp đo công suất sau đây:

- Đo công suất bằng một watmet
- Đo công suất bằng hai watmet
- Đo công suất bằng ba watmet

10.5.2. Đo công suất bằng một watmet:

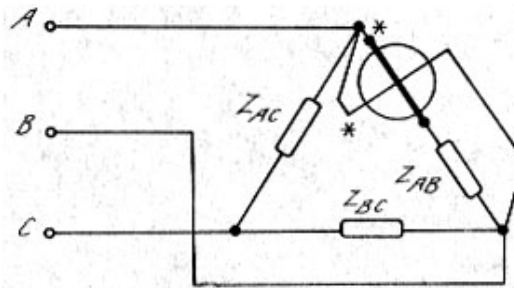
- Nếu như mạch 3 pha có phụ tải *hình sao đối xứng*: chỉ cần đo công suất ở một pha của phụ tải sau đó nhân 3 ta nhận được công suất tổng (H.10.10):

$$P_{\Sigma} = 3.P$$



Hình 10.10. Đo công suất trong mạch 3 pha có phụ tải hình sao đối xứng

- Nếu mạch 3 pha có phụ tải là *tam giác đối xứng*: chỉ cần đo công suất ở một nhánh của phụ tải sau đó nhân 3 sẽ nhận được công suất tổng (H.10.11):



Hình 10.11. Đo công suất trong mạch 3 pha có phụ tải là tam giác đối xứng

- Trong trường hợp phụ tải nối theo *hình tam giác đối xứng* mà ta muốn đo ở ngoài nhánh phụ tải thì phải tạo ra một điểm trung tính giả bằng cách nối với hai pha khác hai điện trở bằng đúng điện trở của cuộn áp r_u của watmet. Sau đó tiến hành đo công suất trên một pha, kết quả công suất tổng bằng 3 lần công suất trên pha đó (H.10.12a).

Ở hình 10.12b là biểu đồ vectơ của các dòng và áp của mạch 3 pha phụ tải hình tam giác. Từ biểu đồ vectơ này ta có:

$$I_A = I_{AB} + I_{AC}$$

Công suất chỉ của watmet là :

$$P_A = U_{AN} I_A \cos (U_{AN} I_A) = U_{AN} I_A \cos \varphi.$$

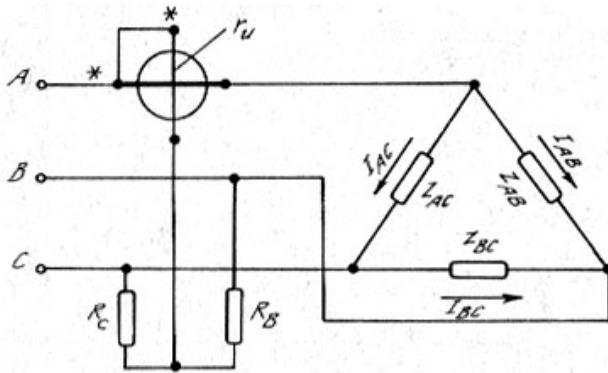
với các điện áp và dòng điện pha: $U_{AN} = \frac{U_{AB}}{\sqrt{3}}; I_A = I_{AB} \cdot \sqrt{3}$

suy ra:

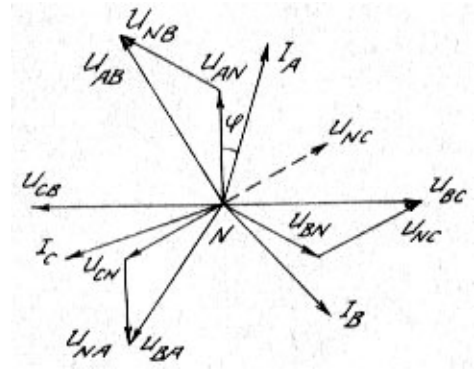
$$P_A = \left(\frac{U_{AB}}{\sqrt{3}} \right) \cdot I_{AB} \cdot \sqrt{3} \cdot \cos \varphi = U_{AB} \cdot I_{AB} \cdot \cos \varphi$$

vậy công suất tổng của cả mạch sẽ là :

$$P_{\Sigma} = 3P_A = 3 \cdot U_{AB} I_{AB} \cdot \cos \varphi$$



a)



b)

Hình 10.12. Đo công suất trong mạch 3 pha có phụ tải là tam giác đối xứng bằng cách đo ở ngoài nhánh phụ tải:

a) Cách mắc watmét vào mạch

b) Biểu đồ vector của các dòng và áp

Nghĩa là với điểm trung tính giả kết quả đo cũng giống như khi đo ở từng nhánh một.

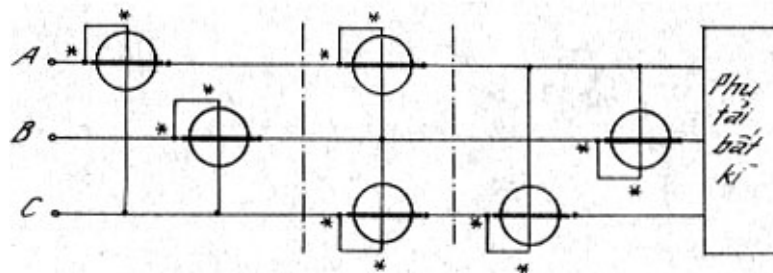
Đối với cách mắc hình sao cũng có thể thực hiện cách này để đo công suất tổng.

10.5.3. Đo công suất bằng hai watmet:

Dựa trên các công thức:

$$P_{\Sigma} = u_{AC} i_A + u_{BC} i_B; \quad P_{\Sigma} = u_{AB} i_A + u_{CB} i_C; \quad P_{\Sigma} = u_{BA} i_B + u_{CA} i_C.$$

suy ra có thể đo công suất mạch 3 pha bằng 2 watmet.



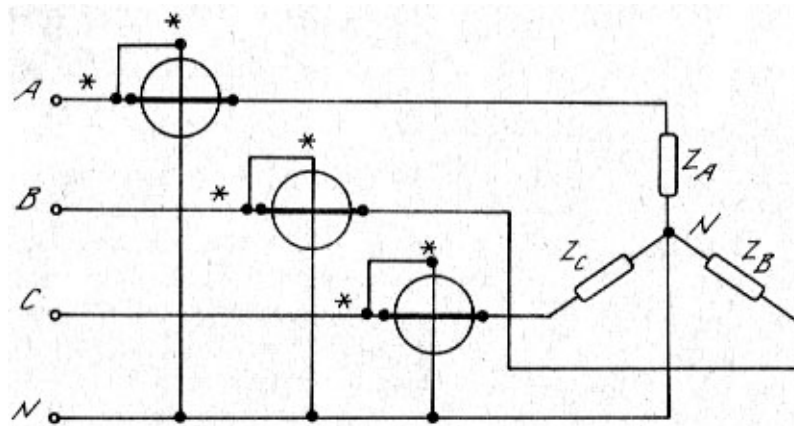
Hình 10.13. Đo công suất trong mạch 3 pha bất kỳ bằng 2 watmét

Không phụ thuộc vào phụ tải (đối xứng hay không đối xứng, tam giác hay hình sao không có dây trung tính) đều có thể đo công suất tổng bằng hai watmet theo một trong 3 cách mắc như hình 10.13: theo cách thứ nhất ta lấy pha C làm pha chung; cách thứ hai là pha B chung; còn cách thứ 3 là pha A chung. Công suất tổng được tính theo công thức trên.

10.5.4. Đo công suất bằng ba watmet:

Trong trường hợp mạch 3 pha có tải hình sao có dây trung tính: nghĩa là mạch 3 pha 4 dây phụ tải không đối xứng. Để đo được công suất tổng ta phải sử dụng 3 watmet, công suất tổng bằng tổng công suất của cả 3 watmet.

Cách mắc các watmet như hình 10.14:



Hình 10.14. Đo công suất mạch 3 pha bằng 3 watmét

Cuộn áp của watmet được mắc vào điện áp pha U_{AN} , U_{BN} , U_{CN} ; còn cuộn dòng là các dòng điện pha I_A , I_B , I_C . Dây trung tính N – N là dây chung cho các pha.

Công suất tổng sẽ là :

$$P_{\Sigma} = P_A + P_B + P_C$$

Các phương pháp trên đây chủ yếu dùng trong phòng thí nghiệm. Trong thực tế người ta sử dụng loại watmet có 2 (hoặc 3) phần tử. Tức là trong một dụng cụ đo có 2 (hoặc 3) phần tĩnh, còn phần động chung. Mômen quay tác động lên phần động bằng tổng các mômen thành phần.

10.5. Đo năng lượng trong mạch 3 pha.

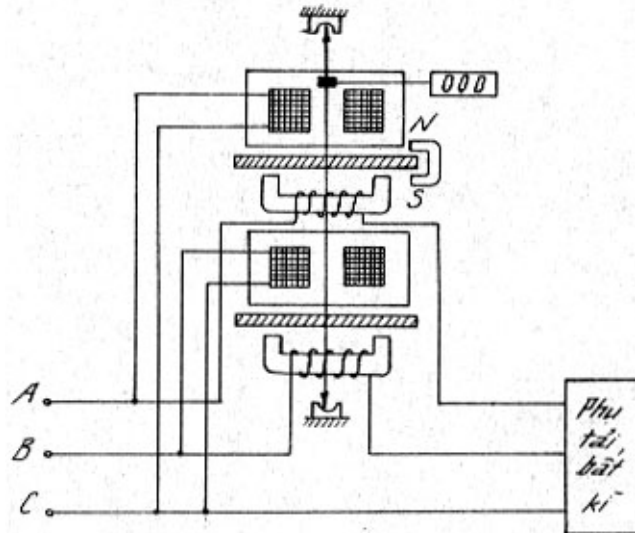
Cũng giống như trường hợp đo công suất, đo năng lượng trong mạch 3 pha ta cũng sử dụng phương pháp 1 công tơ, 2 công tơ, hay 3 công tơ một pha:

- Trường hợp sử dụng phương pháp 1 công tơ khi mà phụ tải hoàn toàn đối xứng: năng lượng tổng bằng 3 lần năng lượng của một pha.
- Trường hợp sử dụng phương pháp 2 công tơ khi phụ tải bất kỳ, và mạch chỉ có 3 dây: năng lượng tổng bằng tổng năng lượng của hai công tơ.
- Trường hợp sử dụng phương pháp 3 công tơ khi mạch có 4 dây (nghĩa là tải hình sao có dây trung tính) và đặc tính của phụ tải có thể đối xứng hay không đối xứng: năng lượng tổng bằng tổng năng lượng của ba công tơ.

Tuy nhiên trong thực tế người ta sử dụng công tơ 3 pha. Công tơ 3 pha có hai loại:

- Loại 2 phần tử (dựa trên phương pháp 2 công tơ)
- Loại 3 phần tử (dựa trên phương pháp 3 công tơ)

Dưới đây là sơ đồ cấu tạo của một công tơ 2 phần tử (H.10.15):



Hình 10.15. Sơ đồ cấu tạo của một công tơ 3 pha 2 phần tử

Phần động gồm 2 đĩa nhôm được gắn vào cùng một trục dựa vào trụ có thể quay được. Mỗi đĩa nhôm đều nằm trong từ trường của cuộn áp và cuộn dòng của pha tương ứng (phần tĩnh). Cuộn áp được mắc song song với phụ tải (có một pha chung), cuộn dòng của các pha được mắc nối tiếp với phụ tải.

Nam châm vĩnh cửu được đặt vào một trong hai đĩa nhôm. Như vậy mômen quay tạo ra sẽ bằng tổng của hai mômen quay do hai phần tử sinh ra và năng lượng đo được chính là tổng của mạch 3 pha.

10.6. Đo công suất, năng lượng trong mạch cao áp.

Để đo công suất và năng lượng trong mạch cao áp ta phải sử dụng biến áp và biến dòng đo lường. Khi mắc dụng cụ đo trong hệ thống điện có điện áp cao và dòng lớn qua biến áp T_u và biến dòng T_I đo lường cần lưu ý các điểm sau đây:

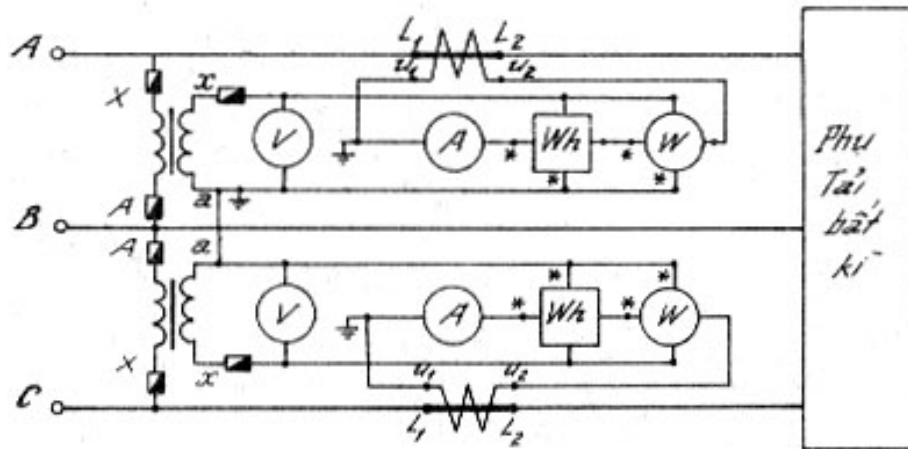
- Dòng trong mạch của dụng cụ đo có cùng hướng với dòng khi không có biến áp.
- Để mắc đúng cần phải đánh dấu các đầu của biến áp và biến dòng:
 - d_1, d_2 - cuộn sơ cấp của biến dòng T_I
 - D_1, D_2 - cuộn thứ cấp của biến dòng T_I
 - $A - X$ - cuộn sơ cấp của biến áp T_u
 - $a - x$ - cuộn thứ cấp của biến áp T_u

Ví dụ: cách mắc dụng cụ đo trong mạch 3 pha cao áp như hình 10.16:

- Cực nguồn của các dụng cụ đo được nối với D_1 và a .
- Mạch thứ cấp của biến dòng phải không được hở mạch còn thứ cấp của biến áp

phải không được ngắn mạch.

- Để đảm bảo an toàn cho người vận hành và cho thiết bị bao giờ cũng phải nối đất đầu a và D₁ của mạch thứ cấp của biến áp và biến dòng để đề phòng khi xuất hiện điện áp cao.



Hình 10.16. Đo công suất và năng lượng trong mạch 3 pha cao áp

Thông thường kết quả đo phụ thuộc vào sai số của dụng cụ đo và của biến áp và biến dòng đo lường mà chủ yếu là sai số góc.

Kết quả đo công suất tổng bằng tổng công suất (và năng lượng) của từng dụng cụ đo nhân với hệ số biến áp và biến dòng.

10.7. Đo công suất phản kháng.

Công suất phản kháng là loại công suất không gây ra công, không truyền năng lượng qua một đơn vị thời gian. Tuy nhiên việc đo nó có một ý nghĩa lớn trong kinh tế. Vì có công suất phản kháng mà dẫn đến việc mất mát năng lượng điện trong dây truyền tải điện, trong các biến áp và các máy phát. Công suất phản kháng được tính theo công suất sau:

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

10.7.1. Đo công suất phản kháng trong mạch một pha:

Có thể sử dụng các watmet điện động và sắt điện động để đo công suất phản kháng.

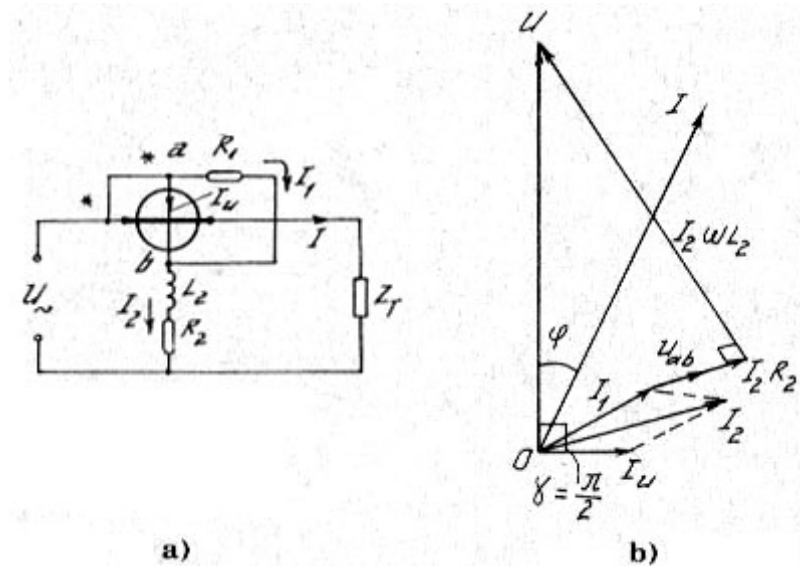
Khác với công suất tác dụng, công suất phản kháng tỉ lệ với $\sin\varphi$. Muốn tạo được $\sin\varphi$ ta phải làm sao tạo được góc lệch $\gamma = \pi/2$ giữa vectơ dòng và áp của cuộn áp trong watmet. Cụ thể: cuộn áp của watmet được mắc song song một điện trở R_1 (ở 2 điểm a, b) và mắc nối tiếp cuộn với cuộn cảm L_2 và điện trở R_2 . Với cách đó tạo ra sự lệch pha giữa điện áp U và dòng I_u trong cuộn động của watmet là $\gamma = \pi/2$ bằng cách lựa chọn các thông số của mạch thích hợp (H.10.17):

Khi đó góc lệch α của watmet sẽ là :

$$\alpha = k.I_u.I.\cos\left(\frac{\pi}{2}-\varphi\right) = k.\frac{U}{Z_T}.I.\sin\varphi = S.Q$$

với $S = k/Z_T$ là độ nhạy của watmet khi đo công suất phản kháng Q.

Như vậy trong mạch một pha muốn đo công suất phản kháng bằng watmet thường ta phải mắc thêm một số phần tử điện cảm và điện trở mới thực hiện được.



Hình 10.17. Sử dụng watmét để đo công suất phản kháng:

a) Cách mắc watmét vào mạch

b) Biểu đồ vector

10.7.2. Đo công suất phản kháng trong mạch 3 pha:

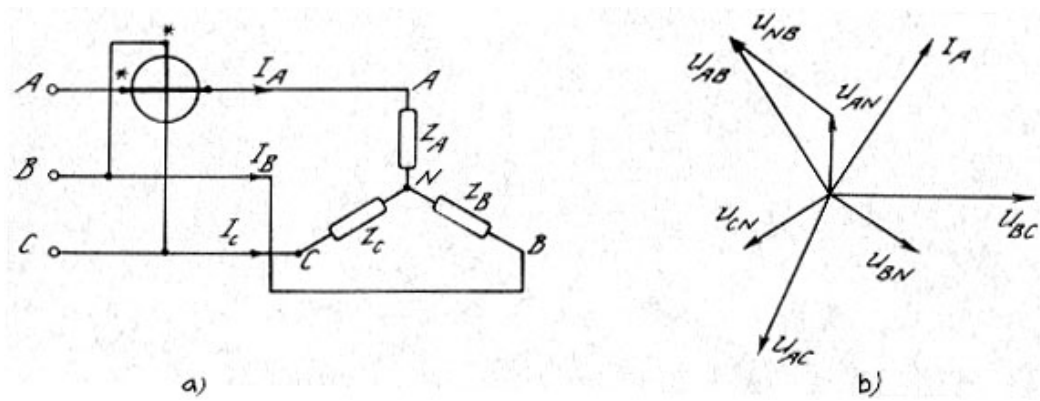
Công suất phản kháng của mạch 3 pha có thể coi là tổng các công suất phản kháng của từng pha.

$$Q_{\Sigma} = U_{A\Phi}I_{A\Phi}\sin\varphi_A + U_{B\Phi}I_{B\Phi}\sin\varphi_B + U_{C\Phi}I_{C\Phi}\sin\varphi_C$$

- Khi tải đối xứng:

$$Q_{\Sigma} = 3.U_{\Phi}.I_{\Phi}.\sin\varphi = \sqrt{3}U_d.I_d.\sin\varphi$$

Sử dụng một watmet để đo được công suất phản kháng của mạch 3 pha tải đối xứng: thường được mắc theo mạch hình 10.18a. Nếu cuộn dòng của watmet mắc vào pha A thì cuộn áp sẽ được mắc vào 2 pha B và C còn lại:



Hình 10.18. Sử dụng watmét để đo công suất phản kháng trong mạch 3 pha:

a) Cách mắc b) Biểu đồ vectơ

Theo sơ đồ vectơ góc $(I_A, U_{BC}) = 90^\circ - \varphi$ (H.10.18b) nên trong trường hợp này công suất đo được sẽ là:

$$P_A = U_{BC} I_A \cdot \cos(I_A, U_{BC}) = U_d I_d \cos(90^\circ - \varphi) = U_d I_d \cdot \sin \varphi = Q_A$$

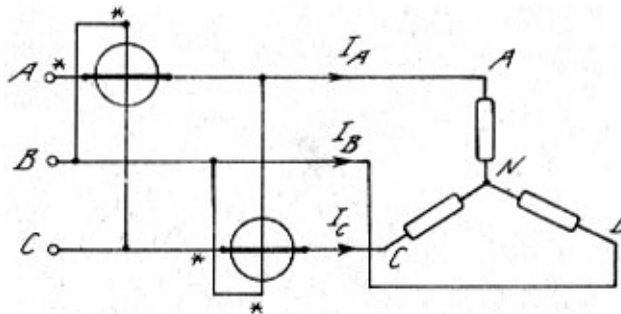
Để xác định công suất phản kháng trong toàn mạch 3 pha ta nhân kết quả trên với $\sqrt{3}$, tức là:

$$Q_\Sigma = \sqrt{3} \cdot Q_A = \sqrt{3} \cdot U_d \cdot I_d \sin \varphi$$

Như vậy trong mạch đối xứng chỉ cần một watmet là có thể đo được công suất phản kháng trong toàn mạch 3 pha.

Nhược điểm của mạch này là chỉ cần một sự không đối xứng nhỏ thôi thì cũng mắc phải sai số lớn, cho nên trong thực tế ít sử dụng phương pháp này.

Sử dụng phương pháp 2 watmet: ta có thể mắc mạch như hình 10.19 (cuộn áp không chung pha với cuộn dòng):



Hình 10.19. Đo công suất phản kháng trong mạch 3 pha bằng 2 watmét

Tổng công suất của 2 watmet là:

$$P_1 + P_2 = U_{BC} I_A \cos \beta_1 + U_{AB} I_C \cos \beta_2$$

Phân tích hoạt động của mạch có phụ tải không đối xứng khá phức tạp, vì vậy ở đây giới hạn trong khuôn khổ một trường hợp riêng: giả thiết rằng các góc lệch pha như nhau, tức là :

$$\beta_1 = \beta_2 = 90^\circ - \varphi$$

từ đó suy ra :

$$P_1 + P_2 = 2.U_d I_d \sin \varphi$$

Để nhận được giá trị thực của công suất phản kháng trong toàn mạch ta chỉ cần nhân kết quả này với hệ số $\sqrt{3}/2$.

Thực vậy:

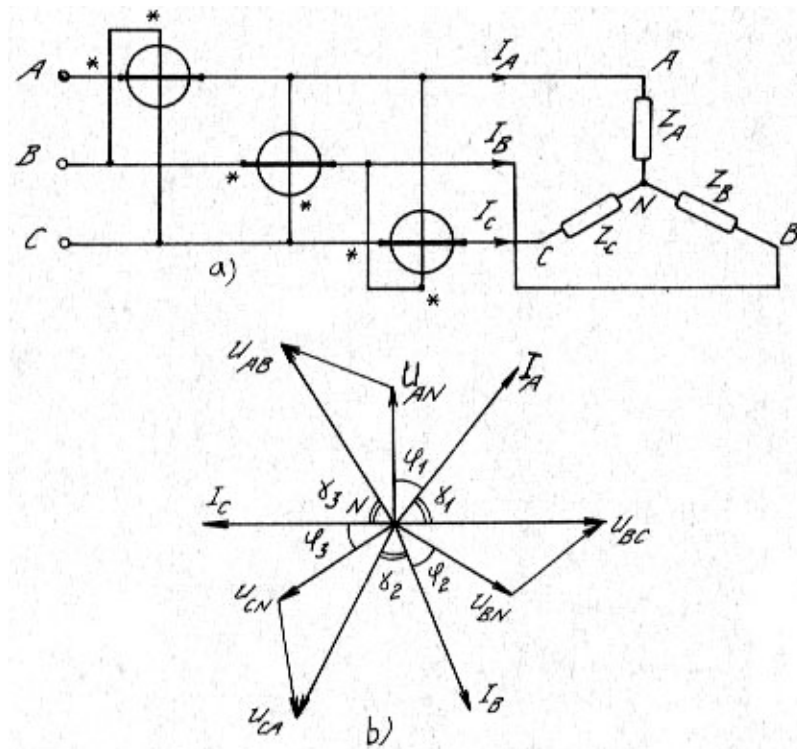
$$Q_\Sigma = (P_1 + P_2) \cdot \frac{\sqrt{3}}{2} = \sqrt{3} \cdot U_d \cdot I_d \cdot \sin \varphi$$

Tương tự khi phụ tải của mạch nối theo hình tam giác ta cũng có kết quả như vậy.

- **Khi tải không đối xứng:** đối với mạch 3 pha phụ tải không đối xứng 3 dây hay 4 dây ta có thể sử dụng phương pháp 3 watmet. Cách mắc các watmet như ở hình 10.20.

Kết quả tổng công suất của 3 watmet được tính như sau:

$$P_1 + P_2 + P_3 = U_{BC} I_A \cos \gamma_1 + U_{CA} I_B \cos \gamma_2 + U_{AB} I_C \cos \gamma_3$$



Hình 10.20. Đo công suất phản kháng trong mạch 3 pha phụ tải không đối xứng 3 dây

Theo sơ đồ vectơ (H.10.20b) ta có:

$$\gamma_1 = 90^\circ - \varphi_1; \quad \gamma_2 = 90^\circ - \varphi_2; \quad \gamma_3 = 90^\circ - \varphi_3$$

Nếu $U_{AB} = U_{BC} = U_{CA} = U_d$ thì:

$$P_1 + P_2 + P_3 = U_d \cdot (I_A \sin \varphi_1 + I_B \sin \varphi_2 + I_C \sin \varphi_3)$$

Công suất phản kháng tổng sẽ là:

$$Q_\Sigma = \frac{P_1 + P_2 + P_3}{\sqrt{3}} = \frac{U_d}{\sqrt{3}} \cdot (I_A \sin \varphi_1 + I_B \sin \varphi_2 + I_C \sin \varphi_3)$$

Tương tự như đo công suất ta có thể chế tạo các công tơ đo năng lượng phản kháng cho mạch 3 pha 3 dây và 4 dây từ công tơ đo năng lượng tác dụng 3 phần tử.