

Chương 7: Máy biến áp

7.1. Khái niệm chung về máy biến áp (MBA)

7.1.1. Định nghĩa:

Máy biến áp là thiết bị điện từ tĩnh, làm việc theo nguyên lý cảm ứng điện từ, dùng để biến đổi điện áp của hệ thống dòng điện xoay chiều nhưng vẫn giữ nguyên tần số.

Đầu vào của MBA nối với nguồn điện gọi là phía sơ cấp.

Đầu ra nối với tải gọi là phía thứ cấp

Nếu $U_2 > U_1$: máy biến áp tăng áp

Nếu $U_2 < U_1$: máy biến áp giảm áp

7.1.2. Công dụng của máy biến áp:

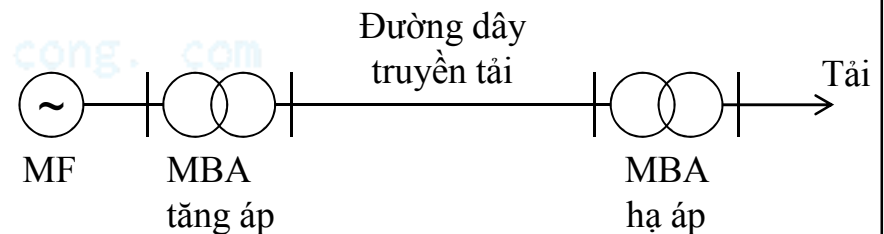
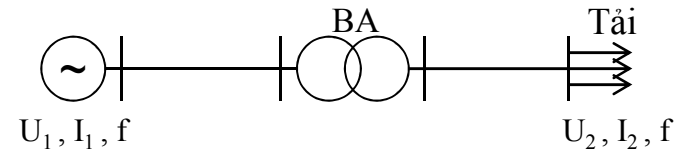
Máy biến áp có vai trò quan trọng trong hệ thống điện, dùng để truyền tải và phân phối điện năng.

Thông thường các nhà máy điện công suất lớn thường

ở xa các trung tâm tiêu thụ điện, do đó cần phải xây dựng các đường dây truyền tải điện năng.

Điện áp máy phát thường là 6,3; 10,5; 15,75; 38,5 kV. Để nâng cao khả năng truyền tải và giảm tổn hao công suất phải giảm dòng điện chạy trên đường dây bằng cách nâng cao điện áp. Vì vậy ở đầu đường dây cần đặt máy biến áp tăng áp. Sau đó ở cuối đường dây lại đặt máy biến áp hạ áp để giảm điện áp cho phù hợp với điện áp của tải.

Ngoài ra, máy biến áp còn được sử dụng trong các thiết bị lò nung (máy biến áp lò), trong hàn điện (máy biến áp hàn), làm nguồn cho các thiết bị điện, điện tử cần nhiều cấp điện áp khác nhau, trong lĩnh vực đo lường (máy biến dòng, máy biến điện áp)...



7.1.2. Các đại lượng định mức:

a/ Điện áp định mức (V, kV):

- $U_{1\text{đm}}$: điện áp sơ cấp định mức là điện áp định mức cho dây quấn sơ cấp
- $U_{2\text{đm}}$: điện áp thứ cấp định mức, là điện áp của dây quấn thứ cấp khi máy biến áp không tải và điện áp sơ cấp là định mức
- Qui ước: điện áp định mức với máy biến áp một pha là điện áp pha, với máy biến áp ba pha là điện áp dây

b/ Dòng điện định mức (A):

- $I_{1\text{đm}}, I_{2\text{đm}}$ là dòng điện đã quy định cho mỗi dây quấn của máy biến áp, ứng với công suất định mức và điện áp định mức
- Qui ước: dòng điện định mức với máy biến áp một pha là dòng điện pha, với máy biến áp ba pha là dòng điện dây.

c/ Công suất định mức:

- Công suất định mức $S_{\text{đm}}$ của máy biến áp là công suất toàn phần đưa ra ở dây quấn thứ cấp của máy biến áp.
- Đối với máy biến áp một pha: $S_{\text{đm}} = U_{2\text{đm}} I_{2\text{đm}} = U_{1\text{đm}} I_{1\text{đm}}$
- Đối với máy biến áp ba pha: $S_{\text{đm}} = \sqrt{3} U_{2\text{đm}} I_{2\text{đm}} = \sqrt{3} U_{1\text{đm}} I_{1\text{đm}}$
- Đơn vị : VA, kVA

Ngoài ra, trên nhãn máy còn ghi tần số định mức $f_{\text{đm}}$, số pha, sơ đồ nối dây, điện áp ngắn mạch...

7.2. Cấu tạo của máy biến áp

- Lõi thép
- Dây quấn

7.2.1. Lõi thép máy biến áp

Lõi thép của máy biến áp dùng để dẫn từ thông chính của máy, được chế tạo từ những vật liệu dẫn từ tốt (thường ghép từ thép kỹ thuật điện dày 0,35-0,5 mm, hai mặt có sơn cách điện), gồm 2 bộ phận:

- trụ: là nơi để đặt dây quấn
- gông: là phần khép kín mạch từ giữa các trụ

Trụ và gông tạo thành mạch từ khép kín

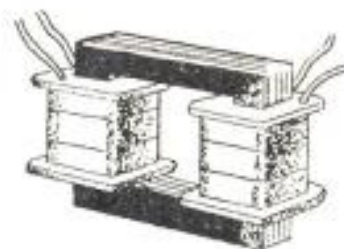
7.2.2. Dây quấn máy biến áp

Dây quấn MBA thường được chế tạo bằng dây đồng (hoặc nhôm) có tiết diện tròn hoặc chữ nhật, bên ngoài dây dẫn có bọc cách điện.

Dây quấn gồm nhiều vòng dây và lồng vào trụ lõi thép.

MBA thường có hai hoặc nhiều dây quấn. Khi dây quấn cao áp và hạ áp đặt cùng trên một trụ thì dây quấn hạ áp đặt sát trụ thép, dây quấn cao áp lồng ra ngoài

Để làm mát và tăng cường cách điện cho MBA, thường đặt lõi thép và dây quấn trong một thùng chứa dầu máy biến áp, vỏ thùng có cánh tản nhiệt. Trên nắp thùng có các sứ xuyên ra để nối các đầu dây quấn ra ngoài, bộ phận chuyển mạch để điều chỉnh điện áp, role hơi để bảo vệ máy, bình dẫn dầu, thiết bị chống ẩm...



7.3. Nguyên lý làm việc của máy biến áp

Xét máy biến áp 1 pha có 2 dây quấn w_1 và w_2

Khi nối dây quấn sơ cấp vào nguồn điện áp xoay chiều u_1 sẽ

Có dòng điện sơ cấp i_1 chạy trong dây quấn sơ cấp. Dòng điện

I_1 sinh ra từ thông biến thiên chạy trong lõi thép, từ thông này

móc vòng đồng thời với cả hai dây quấn sơ cấp và thứ cấp,

Cảm ứng trong các dây quấn này các sức điện động:

$$e_1 = -w_1 \frac{d\phi}{dt} \quad e_2 = -w_2 \frac{d\phi}{dt}$$

- Khi máy biến áp không tải, dây quấn thứ cấp hở mạch,

Dòng điện thứ cấp $i_2 = 0$, từ thông chính trong lõi thép chỉ do dòng

Sơ cấp I_0 gây ra.

- Khi máy biến áp có tải, dây quấn thứ cấp nối với tải có tổng trở Z_t , dưới tác động của e_2 , có dòng điện i_2 cung cấp điện cho tải. Khi đó, từ thông chính do đồng thời cả i_1 và i_2 sinh ra.

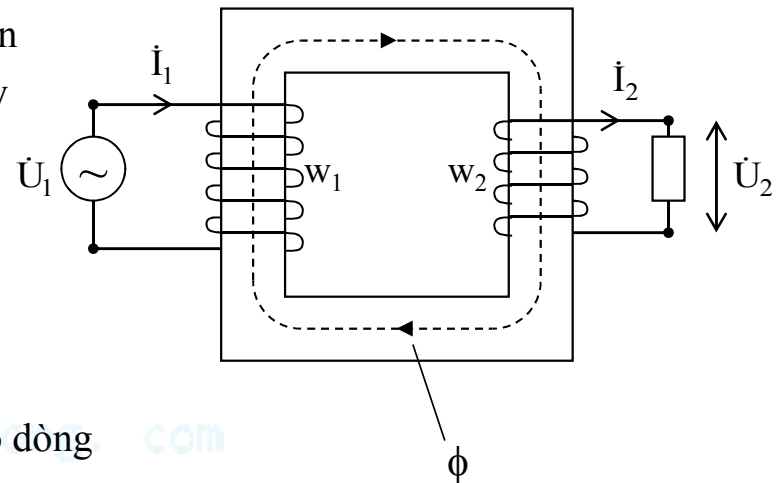
- Nếu điện áp u_1 biến thiên sin, ta có từ thông: $\phi = \phi_m \sin \omega t$

$$\begin{aligned} \rightarrow e_1 &= -w_1 \frac{d(\phi_m \sin \omega t)}{dt} = -w_1 \phi_m \cdot \omega \cos \omega t \\ &= 4,44 f w_1 \phi_m \sqrt{2} \sin\left(\omega t - \frac{\pi}{2}\right) = E_1 \sqrt{2} \sin\left(\omega t - \frac{\pi}{2}\right) \end{aligned}$$

Tương tự:
$$e_2 = -w_2 \frac{d(\phi_m \sin \omega t)}{dt} = E_2 \sqrt{2} \sin\left(\omega t - \frac{\pi}{2}\right)$$

- Trong đó, E_1 , E_2 là trị số hiệu dụng sức điện động sơ cấp và thứ cấp:

$$E_1 = 4,44 f w_1 \phi_m ; E_2 = 4,44 f w_2 \phi_m$$



Đặt: $k = \frac{E_1}{E_2} = \frac{w_1}{w_2}$ gọi là hệ số biến áp

Nếu bỏ qua điện trở dây quấn và từ thông tản ra ngoài không khí, có thể coi gần đúng: $U_1 \approx E_1$; $U_2 \approx E_2$

$$\longrightarrow \frac{U_1}{U_2} \approx \frac{E_1}{E_2} = \frac{w_1}{w_2} = k \longleftrightarrow \text{Tỷ số giữa điện áp sơ cấp và thứ cấp bằng tỷ số vòng dây}$$

Với máy tăng áp: $U_2 > U_1$; $w_2 > w_1$

Với máy hạ áp: $U_2 < U_1$; $w_2 < w_1$

Như vậy, dây quấn sơ cấp và thứ cấp không trực tiếp liên hệ về điện nhưng nhờ có từ thông chính chạy trong mạch từ, năng lượng đã được truyền từ dây quấn sơ cấp sang thứ cấp

Nếu bỏ qua tổn hao trong máy biến áp, có thể coi gần đúng $U_2 I_2 \approx U_1 I_1$

$$\longrightarrow \frac{U_1}{U_2} \approx \frac{I_2}{I_1} \approx k$$

cuu duong than cong. com

7.4. Mô hình toán của máy biến áp

7.4.1. Quá trình điện từ trong máy biến áp:

Xét máy biến áp một pha có hai dây quấn w_1 và w_2 :

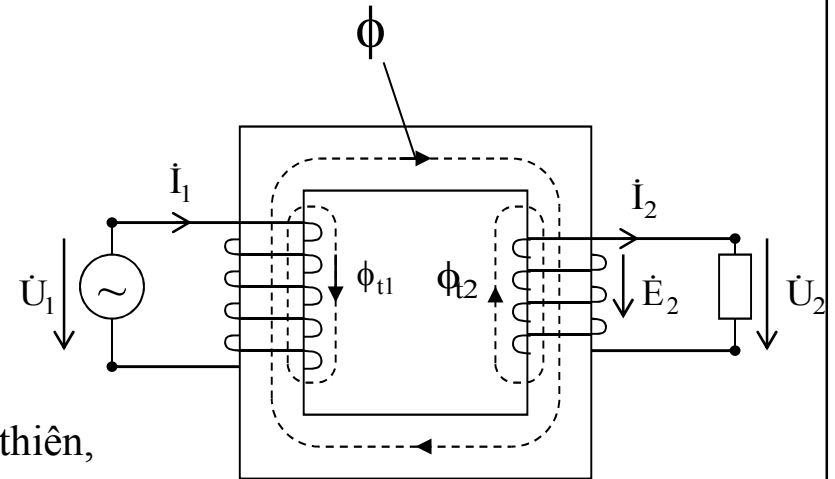
- dây quấn sơ cấp nối với nguồn
- dây quấn thứ cấp nối với tải

u_1 sinh ra dòng điện i_1 có chiều như hình vẽ, từ thông ϕ có chiều phù hợp với i_1 , móc vòng với cả 2 cuộn dây, biến thiên, cảm ứng trong 2 dây quấn sức điện động e_1 và e_2 có chiều phù hợp với ϕ , chọn chiều i_2 như hình vẽ.

Ngoài từ thông chính ϕ chạy trong lõi thép, trong máy biến áp còn có từ thông tản chạy tản ra không khí và các vật liệu cách điện..., từ thông này khép mạch qua các vật liệu không sắt từ, có độ từ dẫn kém nên rất nhỏ so với từ thông chính.

Từ thông tản $\psi_{\sigma 1}$ do dòng i_1 sinh ra chỉ móc vòng với dây quấn sơ cấp, từ thông tản $\psi_{\sigma 2}$ do dòng i_2 sinh ra chỉ móc vòng với dây quấn thứ cấp. Các từ thông này được đặc trưng bởi điện cảm tản:

$$L_{\sigma 1} = \frac{\psi_{\sigma 1}}{i_1} ; L_{\sigma 2} = \frac{\psi_{\sigma 2}}{i_2}$$



7.4.2. Phương trình điện áp sơ cấp:

Xét mạch điện sơ cấp gồm có nguồn điện áp u_1 , sức điện động e_1 , điện trở dây quấn sơ cấp R_1 , điện cảm tản sơ cấp L_1 , áp dụng định luật Kirhof 2 ta có phương trình điện áp sơ cấp:

$$R_1 i_1 + L_1 \frac{di_1}{dt} = u_1 + e_1$$
$$\leftrightarrow u_1 = R_1 i_1 + L_1 \frac{di_1}{dt} - e_1$$

Viết dưới dạng số phức:

đặt $\bar{Z}_1 = R_1 + j\omega L_1 = R_1 + jX_1$ là tổng trở phức của dây quấn sơ cấp (X_1 là điện kháng tản của dây quấn sơ cấp)

$$\rightarrow \dot{U}_1 = R_1 \dot{I}_1 + jX_1 \dot{I}_1 - \dot{E}_1 = \bar{Z}_1 \dot{I}_1 - \dot{E}_1$$

7.4.3. Phương trình điện áp thứ cấp:

Xét mạch điện thứ cấp gồm có sức điện động e_2 , điện trở dây quấn thứ cấp R_2 , điện cảm tản dây quấn thứ cấp L_2 và điện áp thứ cấp u_2 đặt lên tổng trở tải Z_t , áp dụng định luật Kirhof 2 ta có phương trình điện áp thứ cấp:

$$R_2 i_2 + L_2 \frac{di_2}{dt} + u_2 = -e_2 \quad \leftrightarrow u_2 = -R_2 i_2 - L_2 \frac{di_2}{dt} - e_2$$

Viết dưới dạng số phức:

đặt $\bar{Z}_2 = R_2 + j\omega L_2 = R_2 + jX_2$ là tổng trở phức của dây quấn sơ cấp (X_2 là điện kháng tản của dây quấn sơ cấp)

$$\rightarrow \dot{U}_2 = \bar{Z}_t \dot{I}_2 = -R_2 \dot{I}_2 - jX_2 \dot{I}_2 - \dot{E}_2 = \bar{Z}_2 \dot{I}_2 - \dot{E}_2$$

7.4.4. Phương trình sức từ động:

Trong phương trình điện áp sơ cấp: $\dot{U}_1 = \bar{Z}_1 \dot{I}_1 - \dot{E}_1$, thành phần điện áp rơi trên tổng trở thường rất nhỏ, do đó có thể lấy gần đúng $U_1 \approx E_1$

Điện áp lưới U_1 đặt vào máy biến áp không đổi $\rightarrow E_1$ không đổi \rightarrow từ thông chính Φ_{\max} không đổi

- Chế độ không tải: Φ_{\max} do sức từ động của dây quấn sơ cấp $i_0 w_1$ sinh ra
- Chế độ có tải: Φ_{\max} do sức từ động của cả 2 dây quấn sơ cấp và thứ cấp $(i_1 w_1 - i_2 w_2)$ sinh ra

Dấu trừ là do i_2 ngược với chiều từ thông chính đã chọn

Vì Φ_{\max} không đổi nên sức từ động lúc không tải bằng sức từ động lúc có tải, ta có:

$$i_0 w_1 = i_1 w_1 - i_2 w_2 \Leftrightarrow i_0 = i_1 - i_2 \frac{w_2}{w_1} = i_1 - \frac{i_2}{\frac{w_1}{w_2}}$$

Đặt $k = \frac{w_1}{w_2}$ gọi là hệ số biến áp, $i_2' = \frac{i_2}{k}$ là dòng điện thứ cấp quy đổi về phía sơ cấp, ta có: $i_0 = i_1 - i_2'$

Phương trình sức từ động viết dưới dạng phức: $\dot{I}_1 = \dot{I}_0 + \dot{I}_2'$

★ Với ba phương trình đã viết ở trên, ta có được mô hình toán học của máy biến áp:

$$\begin{cases} \dot{U}_1 = \bar{Z}_1 \dot{I}_1 - \dot{E}_1 \\ \dot{U}_2 = \bar{Z}_2 \dot{I}_2 - \dot{E}_2 \\ \dot{I}_1 = \dot{I}_0 + \dot{I}_2' \end{cases}$$

7.5. Sơ đồ thay thế máy biến áp:

Từ mô hình toán học của máy biến áp, ta đi xây dựng mô hình mạch (sơ đồ thay thế) phản ánh đầy đủ quá trình năng lượng trong máy biến áp, thuận lợi cho việc phân tích, nghiên cứu máy biến áp.

7.5.1. Quy đổi các đại lượng thứ cấp về sơ cấp:

Nhân 2 với của phương trình điện áp thứ cấp với hệ số biến áp k , ta có:

$$k\dot{U}_2 = -k\dot{E}_2 - kZ_2\dot{I}_2 = -k\dot{E}_2 - k^2\overline{Z}_2\frac{\dot{I}_2}{k}$$

Đặt $\dot{E}'_2 = k\dot{E}_2 = \dot{E}'_1$; $\dot{U}'_2 = k\dot{U}_2$;

$$\overline{Z}'_2 = k^2\overline{Z}_2$$
 ; $R'_2 = k^2R_2$; $X'_2 = k^2X_2$ (1)

Ta có phương trình:

$$\dot{U}'_2 = -\dot{E}'_1 - \overline{Z}'_2\dot{I}'_2 \quad (2)$$

Ta lại có

$$\dot{U}_2 = \overline{Z}_t\dot{I}_2$$

$$\Leftrightarrow k\dot{U}_2 = k\overline{Z}_t\dot{I}_2 = k^2\overline{Z}'_t\frac{\dot{I}_2}{k} \Leftrightarrow \dot{U}'_2 = \overline{Z}'_t\dot{I}'_2 \quad (3)$$

$$\text{với } Z'_t = k^2Z_t$$
 ; $R'_t = k^2R_t$; $X'_t = k^2X_t$ (4)

Các phương trình (2), (3) là các phương trình qui đổi điện áp thứ cấp về điện áp sơ cấp

Hệ (1),(4) là các công thức qui đổi các đại lượng thứ cấp về sơ cấp

Quá trình qui đổi trên đảm bảo điều kiện bảo toàn năng lượng, công suất trên các phần tử trước và sau khi qui đổi bằng nhau

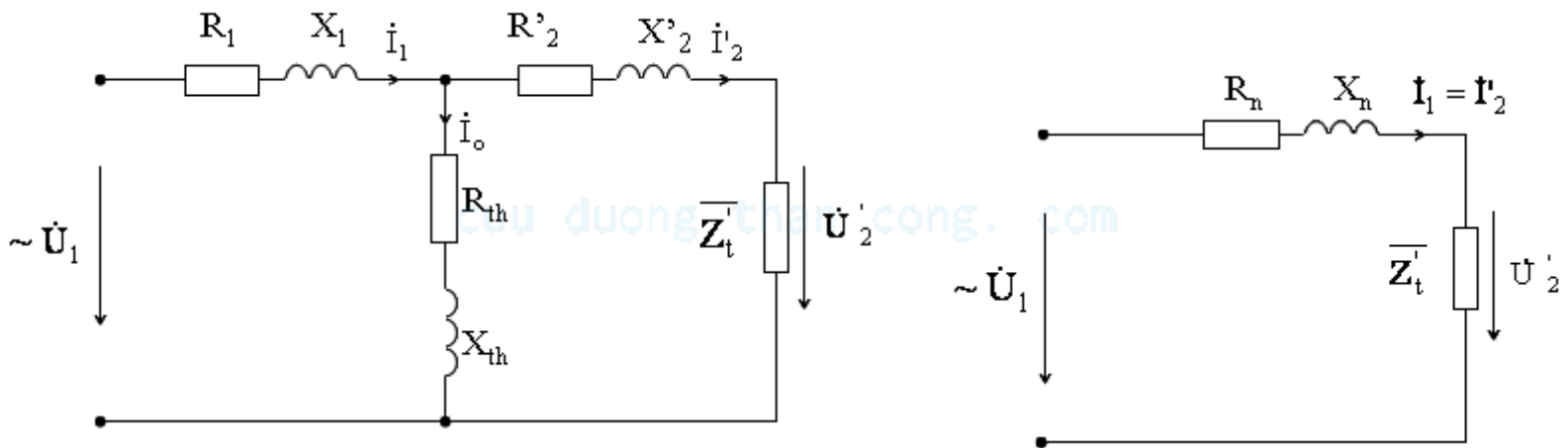
7.5.2. Thiết lập sơ đồ thay thế máy biến áp:

Trong phương trình điện áp sơ cấp: $\dot{U}_1 = \bar{Z}_1 \dot{I}_1 - \dot{E}_1$, thành phần $-\dot{E}_1$ chính là điện áp rơi trên tổng trở $\bar{Z}_{th} = R_{th} + jX_{th}$: R_{th} là điện trở từ hóa đặc trưng cho tổn hao sắt từ
 X_{th} là điện kháng từ hóa đặc trưng cho từ thông chính
 $-\dot{E}_1 = (R_{th} + jX_{th})\dot{I}_0 = \bar{Z}_{th}\dot{I}_0$

Thay vào hệ phương trình mô hình toán học của máy biến áp, ta có:

$$\begin{cases} \dot{U}_1 = \bar{Z}_1 \dot{I}_1 + \bar{Z}_{th} \dot{I}_0 \\ \dot{U}_2 = \bar{Z}_{th} \dot{I}_0 - \bar{Z}_2 \dot{I}_2 \\ \dot{I}_1 = \dot{I}_0 + \dot{I}_2 \end{cases}$$

Từ hệ phương trình trên, ta xây dựng sơ đồ thay thế cho máy biến áp, gồm 3 nhánh, nhánh sơ cấp, nhánh thứ cấp và nhánh từ hóa (thông thường tổng trở nhánh từ hóa rất lớn, dòng I_0 nhỏ nên có thể bỏ nhánh từ hóa (có sơ đồ thay thế gần đúng với $R_n = R_1 + R'_2$; $X_n = X_1 + X'_2$)



7.6. Chế độ không tải của máy biến áp:

Chế độ không tải là chế độ mà phía thứ cấp hở mạch, đặt điện áp vào phía sơ cấp

7.6.1. Phương trình và sơ đồ thay thế của máy biến áp không tải:

Khi không tải, $I_2 = 0$, ta có:

$$\dot{U}_1 = \dot{I}_0 \bar{Z}_1 - \dot{E}_1 = \dot{I}_0 (\bar{Z}_1 + \bar{Z}_{th}) = \dot{I}_0 \bar{Z}_o$$

Với $\bar{Z}_o = \bar{Z}_1 + \bar{Z}_{th}$ là tổng trở máy biến áp không tải

7.6.2. Các đặc điểm ở chế độ không tải:

a/ Dòng điện không tải:
$$I_0 = \frac{U_1}{Z_o} = \frac{U_1}{\sqrt{(R_1 + R_{th})^2 + (X_1 + X_{th})^2}}$$

Tổng trở Z_o thường rất lớn vì thế dòng điện không tải thường nhỏ $I_0 = (2\% - 10\%)I_{dm}$

b/ Công suất không tải:

Ở chế độ không tải, công suất đưa ra phía thứ cấp bằng không song máy vẫn tiêu thụ công suất P_o gồm công suất tổn hao sắt từ trong lõi thép ΔP_{st} và công suất tổn hao trên điện trở dây quấn sơ cấp ΔP_{R1}

Vì dòng điện không tải nhỏ nên có thể bỏ qua công suất tổn hao trên điện trở và coi gần đúng $\Delta P_{st} \approx P_o$

Tổn hao sắt từ ΔP_{st} được tính dựa vào đặc tính của lõi thép:

$$\Delta P_{st} = p_{1,0/50} B^2 \left(\frac{f}{50} \right)^{1,3} G$$

$p_{1,0/50}$ là suất tổn hao trong lá thép khi tần số là 50Hz và từ cảm là 1T.

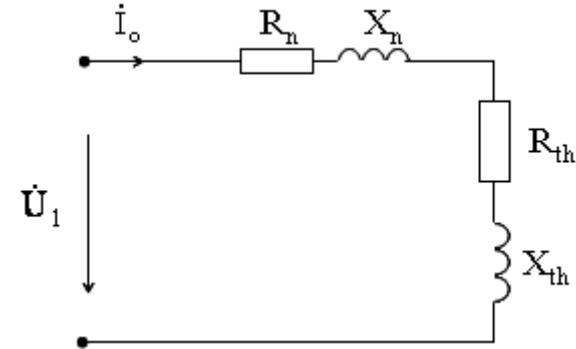
Với thép lá kỹ thuật điện 3413 dày 0,35mm, $p_{1,0/50} = 0,6W/kg$

G là khối lượng thép (kg)

c/ Hệ số công suất không tải:

$$\cos \varphi_o = \frac{R_o}{\sqrt{R_o^2 + X_o^2}} = \frac{P_o}{\sqrt{P_o^2 + Q_o^2}} = 0,1 \div 0,3 \quad (Q_o \gg P_o)$$

★ Khi sử dụng, không nên để máy ở tình trạng không tải hoặc non tải

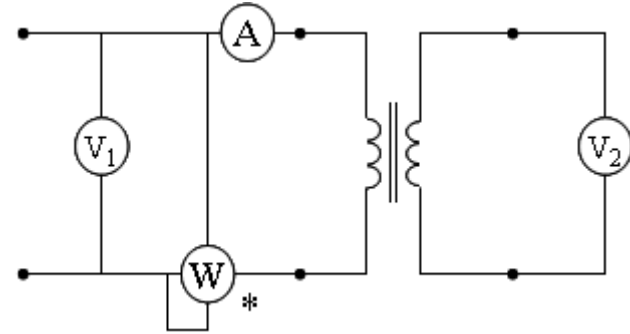


7.6.3. Thí nghiệm không tải của máy biến áp:

Để xác định hệ số biến áp k , tổn hao sắt từ và các thông số của máy ở chế độ không tải, ta tiến hành thí nghiệm không tải:

Sơ đồ thí nghiệm như hình vẽ:

- Đặt điện áp định mức vào dây quấn sơ cấp, dây quấn Thứ cấp hở mạch.
- W kế chỉ công suất không tải P_o
- A kế chỉ dòng điện không tải I_o , V_1 chỉ U_1 , V_2 chỉ U_{20}



Tính được các giá trị:

- Hệ số biến áp k : $k = \frac{W_1}{W_2} = \frac{E_1}{E_2} \approx \frac{U_1}{U_{20}}$
- Dòng điện không tải phần trăm: $I_o \% = \frac{I_o}{I_{1dm}} 100\% (= 3\% \div 10\%)$
- Điện trở không tải: $R_o = \frac{P_o}{I_o^2}$

Có $R_o = R_1 + R_{th}$, vì $R_{th} \gg R_1$ nên lấy gần đúng $R_{th} \approx R_o$

- Tổng trở không tải: $Z_o = \frac{U_{1dm}}{I_o}$ (tương tự trên cũng lấy $Z_{th} \approx Z_o$)
- Điện kháng không tải: $X_o = \sqrt{Z_o^2 - R_o^2}$ (tương tự trên cũng lấy $X_{th} \approx X_o$)
- Hệ số công suất không tải: $\cos \varphi_o = \frac{P_o}{U_{1dm} I_o} = 0,1 \div 0,3$

7.7. Chế độ ngắn mạch của máy biến áp:

Chế độ ngắn mạch là chế độ mà phía thứ cấp bị nối tắt lại, sơ cấp vẫn đặt vào điện áp

7.7.1. Phương trình và sơ đồ thay thế của máy biến áp:

Khi nối tắt phía thứ cấp, vì tổng trở $Z'_2 \ll Z_{th}$ nên có thể bỏ nhánh từ hóa, ta có sơ đồ mạch điện thay thế như hình vẽ

Phương trình điện áp:

$$\dot{U}_1 = \dot{I}_n (\overline{Z}_1 + \overline{Z}'_2) = \dot{I}_n \overline{Z}_n$$

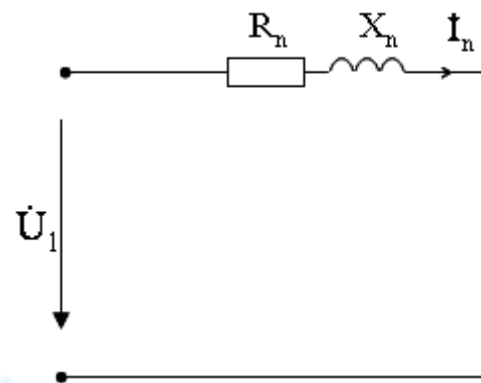
Trong đó:

$\overline{Z}_n = R_n + jX_n = Z_n e^{j\varphi_n}$ là tổng trở phức ngắn mạch máy biến áp

$R_n = R_1 + R'_2$ là điện trở ngắn mạch máy biến áp

$X_n = X_1 + X'_2$ là điện kháng ngắn mạch máy biến áp

$Z_n = \sqrt{R_n^2 + X_n^2}$ là tổng trở ngắn mạch máy biến áp



7.7.2. Đặc điểm ở chế độ ngắn mạch:

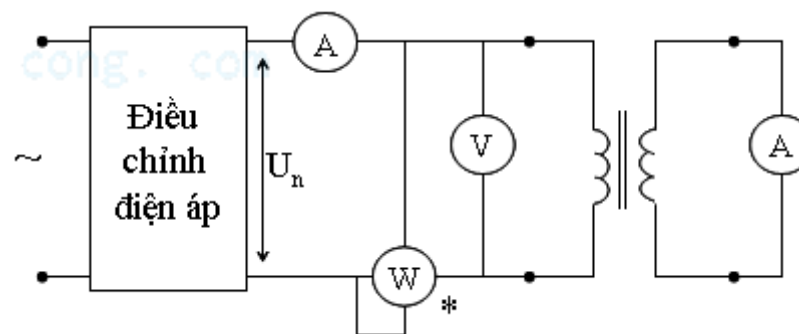
Dòng điện ngắn mạch khi điện áp sơ cấp định mức: $I_n = \frac{U_{1dm}}{Z_n}$

Vì Z_n rất nhỏ nên I_n thường rất lớn $= (10 - 25)I_{dm}$, nguy hiểm cho MBA và các tải dùng điện.

Do đó khi sử dụng MBA cần tránh tình trạng ngắn mạch.

7.7.3. Thí nghiệm ngắn mạch máy biến áp:

Dây quấn thứ cấp nối ngắn mạch, dây quấn sơ cấp nối với nguồn qua bộ điều chỉnh điện áp để điều chỉnh điện áp đặt vào dây quấn sơ cấp bằng U_n sao cho dòng trong các dây quấn bằng dòng định mức.



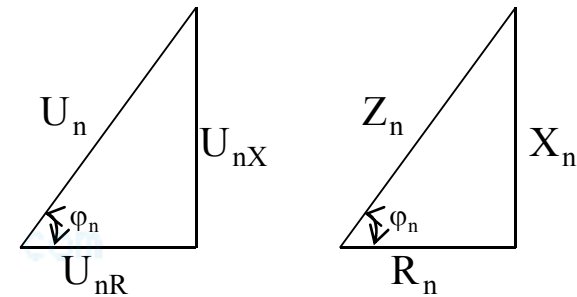
Điện áp ngắn mạch phần trăm:

$$U_n \% = \frac{U_n}{U_{1dm}} 100\% \quad (= 3 \div 10\%)$$

Khi ngắn mạch, điện áp thứ cấp bằng không, do đó U_n chính là điện áp rơi trên tổng trở dây quấn. Vì điện áp ngắn mạch nhỏ, từ thông ϕ sẽ nhỏ, do đó có thể bỏ qua tổn hao sắt từ. Công suất đo được trong thí nghiệm ngắn mạch P_n chính là tổn hao trong điện trở 2 dây quấn.

- Tổng trở ngắn mạch: $Z_n = \frac{U_n}{I_{1dm}}$
- Điện trở ngắn mạch: $R_n = \frac{P_n}{I_{1dm}^2}$
- Điện kháng ngắn mạch: $X_n = \sqrt{Z_n^2 - R_n^2}$

$$\longrightarrow \begin{cases} R_1 \approx R_2 \approx \frac{R_n}{2} & ; R_2 = \frac{R_2'}{k^2} \\ X_1 \approx X_2 \approx \frac{X_n}{2} & ; X_2 = \frac{X_2'}{k^2} \end{cases}$$



Tam giác điện áp ngắn mạch và tam giác tổng trở ngắn mạch

- Điện áp ngắn mạch tác dụng phần trăm: $U_{nR} \% = \frac{R_n I_{1dm}}{U_{1dm}} 100\% = U_n \% \cos \varphi_n$
- Điện áp ngắn mạch phản kháng phần trăm: $U_{nX} \% = \frac{X_n I_{1dm}}{U_{1dm}} 100\% = U_n \% \sin \varphi_n$

$$\cos \varphi_n = \frac{R_n}{Z_n} \quad ; \quad \sin \varphi_n = \frac{X_n}{Z_n}$$

7.8. Chế độ có tải của máy biến áp

Chế độ có tải: dây quấn sơ cấp nối vào nguồn điện áp định mức, dây quấn thứ cấp nối vào tải

Hệ số k_t : đánh giá mức độ tải:

$$k_t = \frac{I_2}{I_{2\text{đm}}} \approx \frac{I_1}{I_{1\text{đm}}} \quad \begin{array}{l} k_t = 1 \text{ tải định mức} \\ k_t < 1 \text{ non tải} \\ k_t > 1 \text{ quá tải} \end{array}$$

7.8.1. Độ biến thiên điện áp thứ cấp theo tải. Đường đặc tính ngoài

a/ Độ biến thiên điện áp thứ cấp theo tải:

Khi máy biến áp có tải, tải thay đổi thì điện áp thứ cấp U_2 thay đổi. Khi điện áp sơ cấp là định mức, độ biến thiên điện áp thứ cấp là: $\Delta U_2 = U_{2\text{đm}} - U_2$

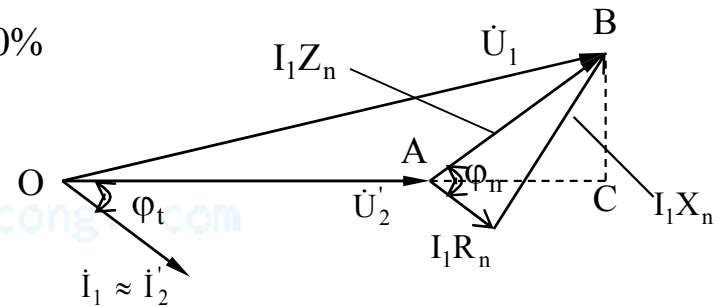
$$\Delta U_2 \% = \frac{U_{2\text{đm}} - U_2}{U_{2\text{đm}}} 100\%$$

$$\Leftrightarrow \Delta U_2 \% = \frac{kU_{2\text{đm}} - kU_2}{kU_{2\text{đm}}} 100\% = \frac{U_{1\text{đm}} - U_2'}{U_{1\text{đm}}} 100\%$$

Đồ thị vectơ của máy biến áp tương ứng với sơ đồ thay thế gần đúng như hình vẽ ($I_0=0$) như hình vẽ

Góc lệch pha giữa U_1 và U_2' không lớn, có thể coi gần đúng $U_{1\text{đm}} = OB \sim OC$

$$\begin{aligned} \rightarrow U_{1\text{đm}} - U_2' &\approx AC = AB \cos(\varphi_n - \varphi_t) = I_1 Z_n \cos(\varphi_n - \varphi_t) \\ &= I_1 Z_n \cos \varphi_n \cos \varphi_t + I_1 Z_n \sin \varphi_n \sin \varphi_t \end{aligned}$$



Vậy ta có:

$$\Delta U_2 \% = \frac{I_1 Z_n \cos \varphi_n \cos \varphi_t + I_1 Z_n \sin \varphi_n \sin \varphi_t}{U_{1\text{đm}}} 100\%$$

$$= k_t \left(\frac{I_{1\text{đm}} Z_n \cos \varphi_n \cos \varphi_t + I_{1\text{đm}} Z_n \sin \varphi_n \sin \varphi_t}{U_{1\text{đm}}} \right) 100\% \quad \left(k_t = \frac{I_1}{I_{1\text{đm}}} \right)$$

$$= k_t (U_{nR} \% \cos \varphi_t + U_{nX} \% \sin \varphi_t)$$

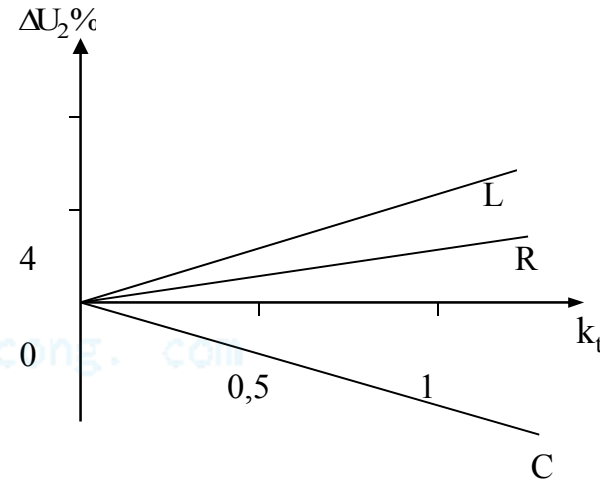
Trị số ΔU_2 phụ thuộc vào tính chất của tải:

$$\varphi_n - \varphi_t = 0 \rightarrow \Delta U_2 \text{ max}$$

$$\varphi_n - \varphi_t = 90^\circ \rightarrow \Delta U_2 = 0$$

$$|\varphi_n - \varphi_t| > 90^\circ \rightarrow \Delta U_2 < 0$$

$$|\varphi_n - \varphi_t| < 90^\circ \rightarrow \Delta U_2 > 0$$



b/ Đường đặc tính ngoài

Đường đặc tính ngoài của máy biến áp biểu diễn quan hệ

$U_2 = f(I_2)$ khi $U_1 = U_{\text{đm}}$ và $\cos \varphi_t = \text{const}$

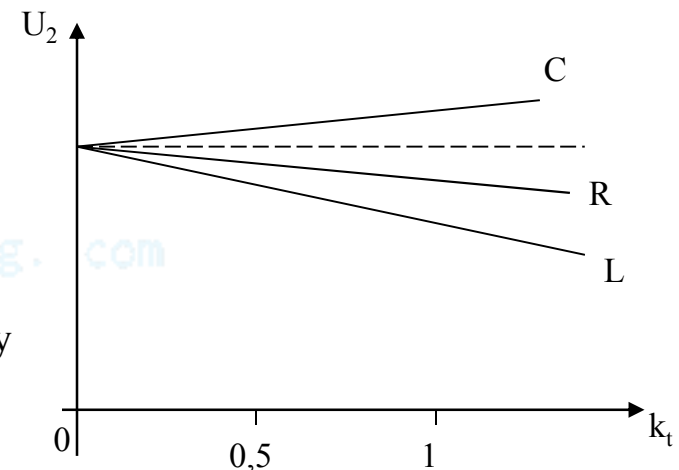
$$U_2 = U_{2\text{đm}} - \Delta U_2 = U_{2\text{đm}} \left(1 - \frac{\Delta U_2 \%}{100} \right)$$

Tải dung: I_2 tăng thì U_2 tăng

Tải cảm, tải trở: I_2 tăng thì U_2 giảm (tải cảm giảm nhiều hơn)

Để điều chỉnh U_2 đạt giá trị mong muốn, ta thay đổi số vòng dây

Trong khoảng $\pm 5\%$ (thường thay đổi số vòng dây cuộn cao áp)



7.8.2. Tổn hao và hiệu suất máy biến áp:

Khi máy biến áp làm việc có các tổn hao:

- Tổn hao đồng ΔP_d trên điện trở dây quấn sơ cấp và thứ cấp

$$\begin{aligned}\Delta P_d &= I_1^2 R_1 + I_2^2 R_2 = I_1^2 (R_1 + R_2') \\ &= I_1^2 R_n = k_t^2 I_{1đđ}^2 R_n\end{aligned}$$

$$\rightarrow \Delta P_d = k_t^2 P_n$$

- Tổn hao sắt từ ΔP_{st} trong lõi thép do dòng điện xoáy và từ trễ gây ra. Tổn hao này không phụ thuộc vào tải mà phụ thuộc vào từ thông chính, nghĩa là phụ thuộc vào điện áp. Tổn hao này bằng công suất đo được trong thí nghiệm không tải

$$\Delta P_{st} = P_o$$

Hiệu suất của máy biến áp:

$$\eta = \frac{P_2}{P_1} = \frac{P_2}{P_2 + \Delta P_{st} + \Delta P_d} = \frac{k_t S_{đm} \cos \varphi_t}{k_t S_{đm} \cos \varphi_t + P_o + k_t^2 P_n} \quad (\text{với } P_2 \text{ là công suất tác dụng ở đầu ra})$$
$$P_2 = S_2 \cos \varphi_t = k_t S_{đm} \cos \varphi_t$$

Nếu $\cos \varphi_t$ không đổi, hiệu suất là cực đại khi:

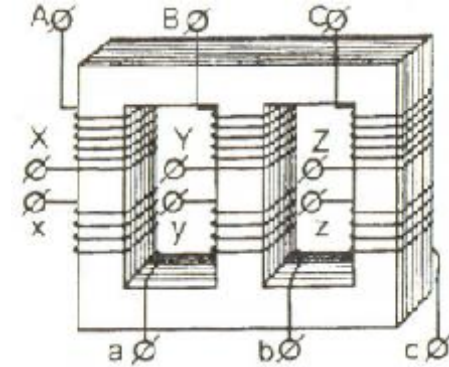
$$\frac{\partial \eta}{\partial k_t} = 0 \Leftrightarrow k_t^2 P_n = P_o \Leftrightarrow k_t = \sqrt{\frac{P_o}{P_n}}$$

Đối với máy công suất trung bình và lớn, hiệu suất đạt cực đại khi $k_t = 0,5 - 0,7$

7.9. Máy biến áp ba pha

Để biến đổi điện áp của hệ thống dòng điện ba pha ta có thể dùng ba máy biến áp một pha hoặc dùng máy biến áp ba pha như hình vẽ

Máy biến áp ba pha gồm ba trụ, mỗi trụ có dây quấn sơ cấp (ký hiệu bằng chữ in hoa: AX, BY, CZ) và dây quấn thứ cấp (ký hiệu bằng chữ thường: ax, by, cz) của mỗi pha. Dây quấn sơ cấp và thứ cấp có thể nối hình sao hoặc hình tam giác.



w_1 : số vòng dây pha một pha sơ cấp

w_2 : số vòng dây pha một pha thứ cấp

- Tỷ số điện áp pha sơ cấp và thứ cấp:

$$\frac{U_{p1}}{U_{p2}} = \frac{w_1}{w_2}$$

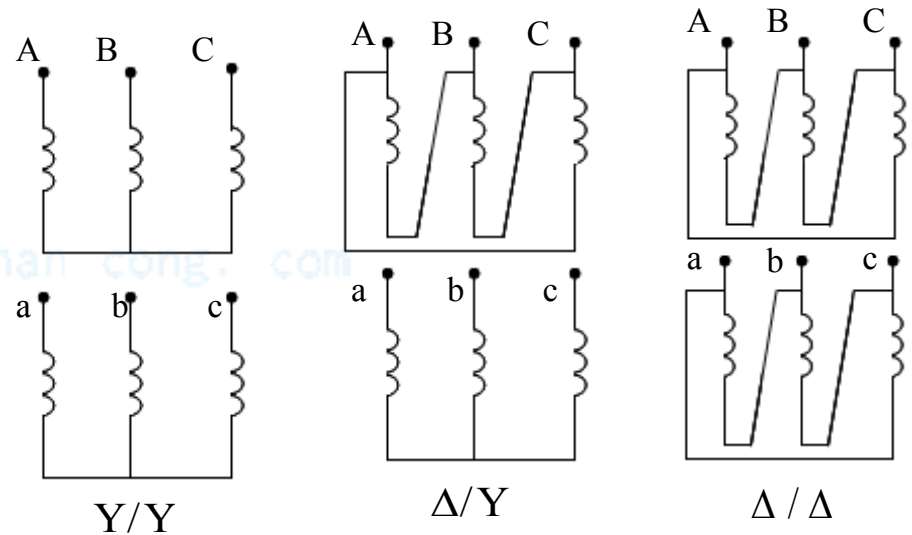
- Tỷ số điện áp dây sơ cấp và thứ cấp: phụ thuộc vào cách nối:

- nối Δ/Y : $\frac{U_{d1}}{U_{d2}} = \frac{U_{p1}}{\sqrt{3}U_{p2}} = \frac{w_1}{\sqrt{3}w_2}$

- nối Δ/Δ : $\frac{U_{d1}}{U_{d2}} = \frac{U_{p1}}{U_{p2}} = \frac{w_1}{w_2}$

- nối Y/Y : $\frac{U_{d1}}{U_{d2}} = \frac{\sqrt{3}U_{p1}}{\sqrt{3}U_{p2}} = \frac{w_1}{w_2}$

- nối Y/Δ : $\frac{U_{d1}}{U_{d2}} = \frac{\sqrt{3}U_{p1}}{U_{p2}} = \frac{\sqrt{3}w_1}{w_2}$



Không chỉ chú ý đến tỷ số điện áp dây, trên thực tế ta phải quan tâm đến góc lệch pha giữa điện áp dây sơ cấp và điện áp dây thứ cấp, góc lệch pha này được thể hiện ở ký hiệu tổ đấu dây của mỗi máy. Ví dụ: máy biến áp có tổ nối dây là Y/Y-12, nghĩa là góc lệch pha giữa điện áp dây sơ cấp và điện áp dây thứ cấp là $12 \times 30^\circ = 360^\circ$ (đi theo chiều kim đồng hồ)

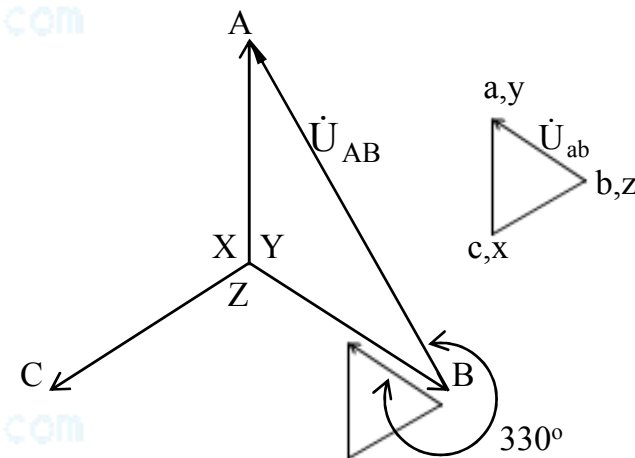
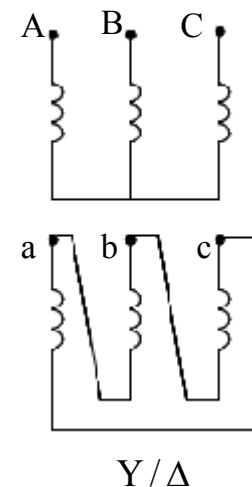
Khi vẽ đồ thị vectơ để xác định góc lệch pha, cần chú ý pha của điện áp pha các dây quấn trên cùng một trụ, tùy theo chiều quấn dây và ký hiệu đầu dây mà chúng có thể trùng pha hay ngược pha nhau.

Ví dụ, với máy biến áp có cách đấu dây như hình vẽ, vẽ đồ thị vectơ, từ đó xác định góc lệch pha giữa điện áp dây sơ cấp và thứ cấp

- Sơ cấp nối sao
- Thứ cấp nối tam giác
- Góc lệch pha giữa điện áp dây sơ cấp và điện áp dây thứ cấp là 330°

Vậy tổ đấu dây của máy biến áp này là Y/ Δ -11

Đối với máy biến áp ba pha đối xứng, khi nghiên cứu chỉ cần viết phương trình, sơ đồ thay thế, đồ thị vectơ cho một pha, vì vậy khi tính các thông số trong sơ đồ thay thế cần chú ý tính các thông số pha



7.10. Máy biến áp làm việc song song

Trong thực tế vận hành hệ thống điện, các máy biến áp thường làm việc song song với nhau, nhờ đó có thể nâng cao hiệu quả kinh tế của hệ thống, nâng cao độ tin cậy và tính an toàn cung cấp điện của hệ thống.

Để cho các máy làm việc song song cần có các điều kiện:

a/ Điện áp định mức sơ cấp và thứ cấp của các máy phải bằng nhau tương ứng:

$$U_{1I} = U_{1II}$$

$$U_{2I} = U_{2II}$$

Nghĩa là tỷ số biến áp của 2 máy bằng nhau: $k_I = k_{II}$

Trong thực tế cho phép k của các máy khác nhau không qua 0,5%

b/ Các máy phải có cùng tổ nối dây: đảm bảo điện áp thứ cấp của 2 máy phải bằng nhau

2 điều kiện trên đảm bảo cho không có dòng cân bằng lớn chạy quanh trong các máy

c/ Điện áp ngắn mạch của các máy phải bằng nhau:

$$U_{nI}\% = U_{nII}\%$$

Cần đảm bảo điều kiện này để tải phân bố trên các máy tỷ lệ với công suất định mức của chúng

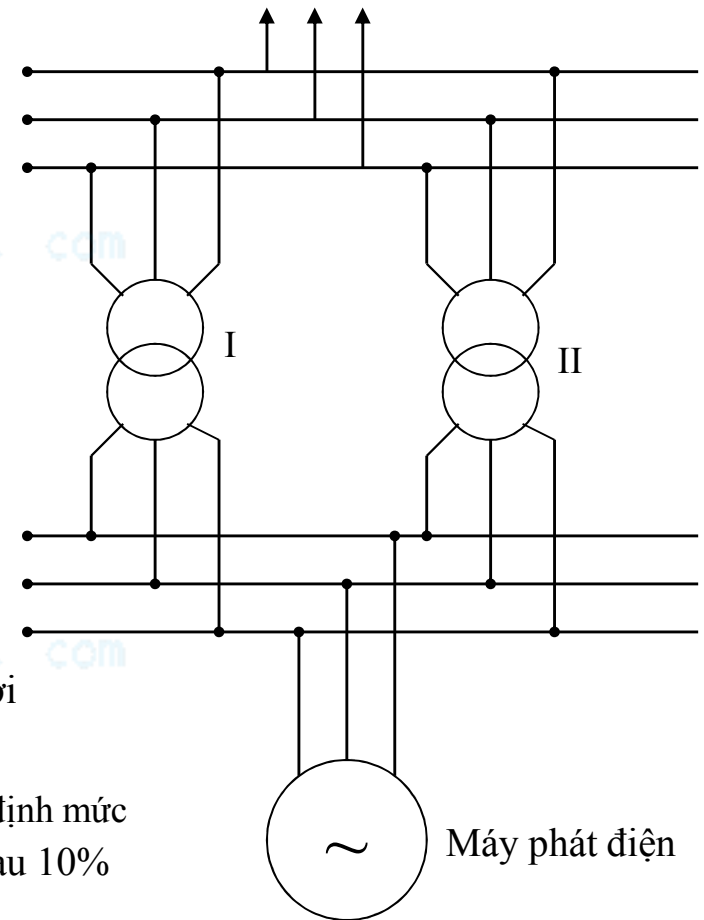
Ví dụ: $U_{nI}\% < U_{nII}\%$, tức là $I_{1dm}Z_{nI} < I_{II dm}Z_{nII}$,

khi dòng điện máy I đạt I_{1dm} , dòng điện trong máy II là I_{II} , điện áp rơi

trong 2 máy là bằng nhau: $I_{1dm}Z_{nI} = I_{II}Z_{nII} < I_{II dm}Z_{nII}$

$$\longrightarrow I_{II} < I_{II dm} \longrightarrow \text{Máy II non tải khi máy I đã định mức}$$

Trong thực tế cho phép điện áp ngắn mạch của các máy sai khác nhau 10%



7.11. Các máy biến áp đặc biệt:

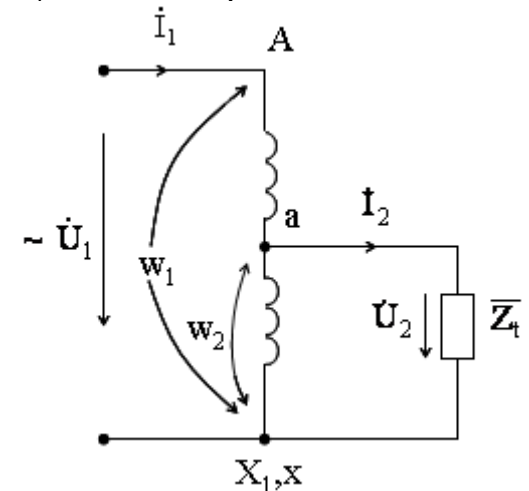
7.11.1. Máy tự biến áp (biến áp tự ngẫu):

- Máy tự biến áp một pha có công suất nhỏ được dùng trong các phòng thí nghiệm và trong các thiết bị để làm cho nguồn có khả năng điều chỉnh được điện áp đầu ra theo yêu cầu.
- Máy tự biến áp ba pha thường dùng để điều chỉnh điện áp khi mở máy các động cơ xoay chiều 3 pha.
- Cấu tạo: gồm một dây quấn dùng làm dây quấn sơ cấp, với số vòng dây w_1 và một bộ phận của nó với số vòng w_2 được dùng làm dây quấn thứ cấp.

Tỷ số điện áp:
$$\frac{U_1}{U_2} = \frac{w_1}{w_2}$$

Bằng cách hay đổi w_2 bằng cách thay đổi vị trí tiếp điểm trượt, ta có thể thay đổi được U_2 , do đó máy tự biến áp được dùng để điều chỉnh điện áp một cách liên tục.

Ở máy tự biến áp, năng lượng truyền từ sơ cấp và thứ cấp bằng cả hai đường điện và điện từ, do đó máy tự biến áp có tiết diện lõi bé hơn máy biến áp thường, ngoài ra máy này chỉ có một cuộn dây nên tiết kiệm được dây và giảm tổn hao, tuy nhiên nó có nhược điểm là mức độ an toàn điện không cao.

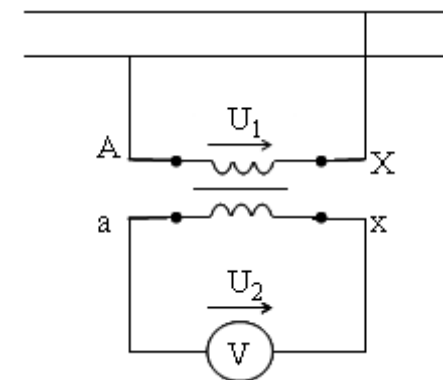


7.11.2. Máy biến áp đo lường

Các máy biến áp đo lường dùng để mở rộng thang đo trong các dụng cụ đo lường

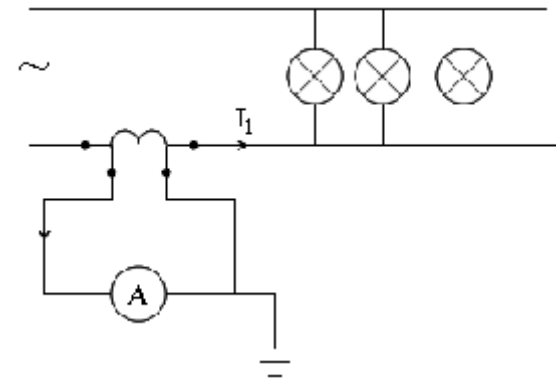
a/ Máy biến điện áp:

- Biến đổi điện áp cao xuống điện áp thấp để đo lường bằng các dụng cụ thông thường: $w_2 < w_1$
- Mắc dây như hình vẽ, trong khi làm việc không được để ngắn mạch thứ cấp



b/ Máy biến dòng điện:

- Biến đổi dòng điện lớn xuống dòng điện nhỏ để đo lường
- Và dùng cho một số mục đích khác: $w_2 > w_1$
- Cuộn sơ cấp đầu nối tiếp với dòng điện cần đo, cuộn thứ cấp nối với ampe kế hoặc cuộn dòng điện của oát kế
 - Không được hở mạch thứ cấp



7.11.3. Máy biến áp hàn hồ quang

- Dùng trong phương pháp hàn hồ quang điện
- Sơ đồ nguyên lý và cách đấu như hình vẽ
- Máy biến áp hàn được chế tạo có điện kháng tản lớn,

Thêm cuộn kháng ngoài để cho dòng điện hàn không vượt quá 2 đến 3 lần I_{dm} , đường đặc tính ngoài của máy rất dốc, phù hợp với yêu cầu hàn điện.

- Dí que hàn vào tấm kim loại sẽ có dòng điện lớn chạy qua,

Làm nóng chỗ tiếp xúc. Nhấc que hàn cao các tấm kim loại một khoảng nhỏ, do cường độ từ trường lớn làm ion hóa chất khí, sinh ra hồ quang điện và tỏa nhiệt lượng lớn làm nóng chảy chỗ hàn.

- Để điều chỉnh dòng điện hàn có thể thay đổi số vòng dây cuộn thứ cấp hoặc thay đổi điện kháng cuộn K
- Bằng cách thay đổi khe hở không khí của lõi thép.

- Chế độ làm việc của máy biến áp hàn là ngắn mạch ngắn hạn thứ cấp. Điện áp thứ cấp định mức máy biến áp hàn thường bằng 60 – 70V.

