

MÁY BIẾN ÁP

3.1. CHUẨN ĐẦU RA

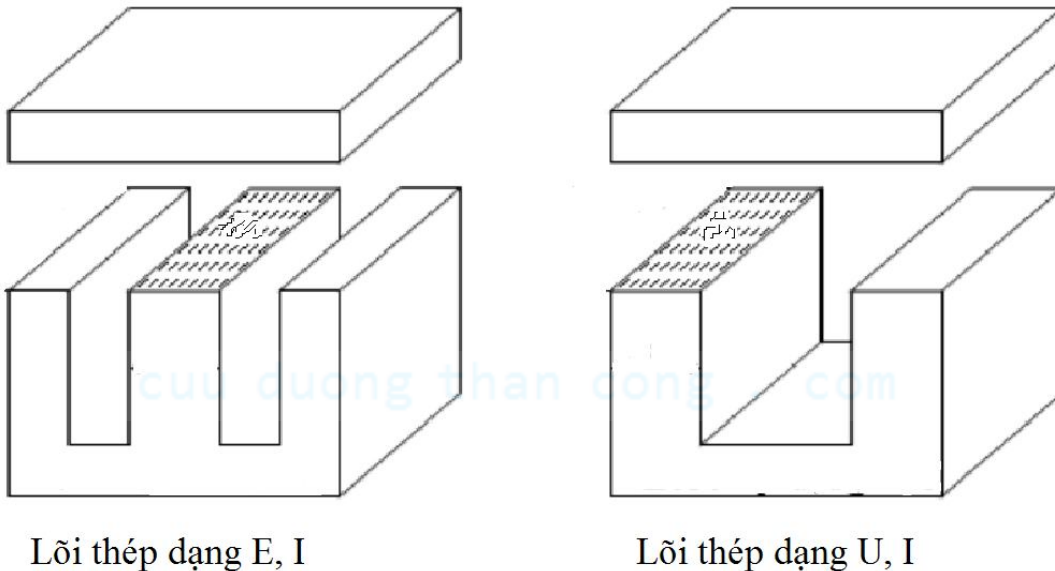
- Trình bày được kết cấu, nguyên lý làm việc, các thông số định mức của máy biến áp một pha và ba pha.
- Thiết lập được các hệ phương trình trong tính toán máy biến áp.
- Tính các thông số kỹ thuật của máy biến áp qua thí nghiệm không tải, có tải và khi làm việc song song.
- Phân tích được quá trình biến đổi năng lượng, tính công suất, hiệu suất, mô men điện từ của máy biến áp.

3.2. TÓM TẮT LÝ THUYẾT

3.2.1. KẾT CẤU, NGUYÊN LÝ LÀM VIỆC, THÔNG SỐ ĐỊNH MỨC CỦA MÁY BIẾN ÁP

3.2.1.1. Kết cấu

a. Lõi thép



Hình 3.1. Lõi thép máy biến áp.

- Nhiệm vụ: dùng làm mạch dẫn từ, đồng thời làm khung để quấn dây quấn.

- Vật liệu: thép lá kỹ thuật điện dày $0,35 \div 0,5$ mm và bề mặt được sơn cách điện để giảm tổn hao do dòng điện xoáy.

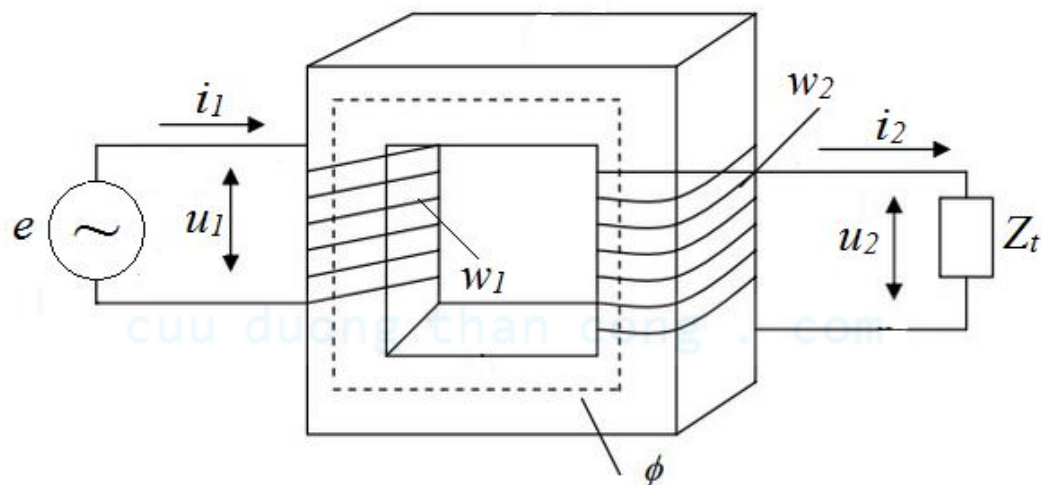
b. Dây quấn

- Nhiệm vụ: là bộ phận dẫn điện của máy biến áp, làm nhiệm vụ thu năng lượng vào và truyền năng lượng ra.
- Vật liệu: Cu hoặc Al có bọc cách điện.
- Hình dạng:
 - + Dây quấn đồng tâm: hình trụ, hình xoắn, hình xoắn ốc liên tục.
 - + Dây quấn xen kẽ.

c. Các chi tiết khác

- Thùng máy:
 - + Ngăn các vật bên ngoài (máy biến áp khô).
 - + Chứa dầu (máy biến áp dầu).
- Bình giãn dầu.
- Ống bảo hiểm.

3.2.1.2. Nguyên lý làm việc



Hình 3.2. Nguyên lý làm việc của máy biến áp.

Xét máy biến áp hai dây quấn:

Cuộn sơ cấp có số vòng dây w_1 .

Cuộn thứ cấp có số vòng dây w_2 .

Khi đặt một điện áp xoay chiều u_1 vào cuộn sơ cấp sẽ sinh ra dòng điện i_1 . Dòng điện i_1 sẽ tạo nên trong lõi thép từ thông ϕ móc vòng với cả hai dây quấn sơ cấp và thứ cấp và cảm ứng trong hai dây quấn đó sức điện động e_1 và e_2 . Dây quấn thứ cấp có sức điện động sẽ sinh ra dòng điện i_2 đưa ra tải với điện áp u_2 .

Khi điện áp đặt vào cuộn sơ cấp có dạng hình sin thì từ thông do nó sinh ra cũng có dạng hình sin:

$$\phi = \phi_m \sin \omega t \quad (3.1)$$

Với: $\phi_m = B_{max} \cdot S$: Từ thông cực đại, [Wb].

B_{max} : Từ cảm cực đại, [T].

S : Tiết diện ngang, [m²].

Trị số hiệu dụng của sức điện động cảm ứng trong các dây quấn sơ cấp và thứ cấp:

$$E_1 = 4,44 f w_1 \phi_m \quad (3.2)$$

$$E_2 = 4,44 f w_2 \phi_m \quad (3.3)$$

Tỷ số biến áp của máy biến áp một pha:

$$K = \frac{E_1}{E_2} = \frac{w_1}{w_2} \approx \frac{U_1}{U_2} = \frac{I_2}{I_1} \quad (3.4)$$

3.2.1.3. Thông số định mức

- S_{dm} : Dung lượng hay công suất định mức, [kVA].
- U_{1dm} : Điện áp dây sơ cấp định mức, [kV].
- U_{2dm} : Điện áp dây thứ cấp định mức, [kV].
- I_{1dm} : Dòng điện dây sơ cấp định mức, [A].
- I_{2dm} : Dòng điện dây thứ cấp định mức, [kV].

- f_{dm} : Tần số định mức, [Hz].
- η_{dm} : Hiệu suất định mức.
- $\cos\varphi_{dm}$: Hệ số công suất định mức.
- U_n : Điện áp ngắn mạch.
- U_{nr} : Thành phần tác dụng của điện áp ngắn mạch.
- U_{nx} : Thành phần phản kháng của điện áp ngắn mạch.

3.2.2. QUAN HỆ ĐIỆN TỪ TRONG MÁY BIẾN ÁP

3.2.2.1. Các phương trình cơ bản của máy biến áp

- Dòng điện định mức sơ cấp và thứ cấp máy biến áp:
+ Đối với máy biến áp một pha:

$$I_{1dm} = \frac{S_{dm}}{U_{1dm}} \quad (3.5)$$

$$I_{2dm} = \frac{S_{dm}}{U_{2dm}}$$

- + Đối với máy biến áp ba pha:

$$I_{1dm} = \frac{S_{dm}}{\sqrt{3}U_{1dm}} \quad (3.6)$$

$$I_{2dm} = \frac{S_{dm}}{\sqrt{3}U_{2dm}}$$

- Phương trình cân bằng sức điện động:

$$\begin{cases} \dot{U}_1 = -\dot{E}_1 + \dot{I}_1 Z_1 \\ \dot{U}_2 = \dot{E}_2 - \dot{I}_2 Z_2 \end{cases} \quad (3.7)$$

Trong đó:

$Z_1 = r_1 + jx_1, Z_2 = r_2 + jx_2$: tổng trở dây quấn sơ và thứ cấp.

r_1, r_2 : điện trở cuộn sơ và thứ cấp.

x_1, x_2 : điện kháng cuộn sơ và thứ cấp.

- Phương trình cân bằng sức từ động:

$$I_1 = I_0 - I'_2 \quad (3.8)$$

3.2.2.2. Quy đổi máy biến áp

- Sức điện động và điện áp thứ cấp quy đổi:

$$E'_2 = KE_2 \quad (3.9)$$

$$U'_2 = KU_2 \quad (3.10)$$

- Dòng điện thứ cấp quy đổi:

$$I'_2 = \frac{1}{K} I_2 \quad (3.11)$$

- Điện trở, điện kháng, tổng trở thứ cấp quy đổi:

$$r'_2 = K^2 r_2 \quad (3.12)$$

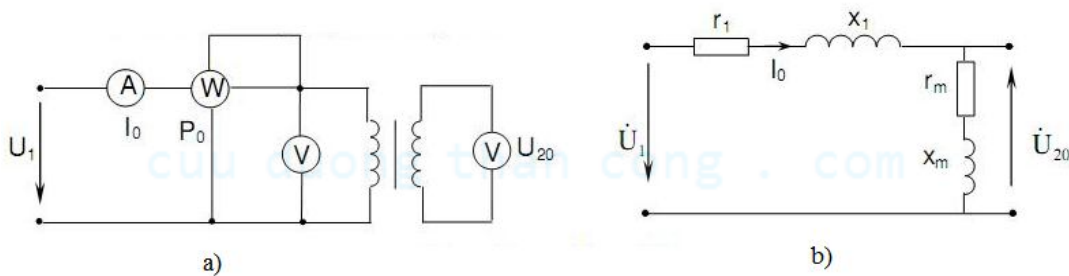
$$x'_2 = K^2 x_2 \quad (3.13)$$

$$Z'_2 = K^2 (r_2 + jx_2) \quad (3.14)$$

- Các phương trình quy đổi:

$$\begin{cases} \dot{U}_1 = -\dot{E}_1 + \dot{I}_1 Z_1 \\ \dot{U}'_2 = \dot{E}'_2 - \dot{I}'_2 Z'_2 \\ \dot{I}_1 = \dot{I}_0 - \dot{I}'_2 \end{cases} \quad (3.15)$$

3.2.2.3. Thí nghiệm không tải



Hình 3.3. a) Sơ đồ thí nghiệm không tải máy biến áp một pha.

b) Mạch điện thay thế của máy biến áp lúc không tải.

- Tổng trở, điện trở, điện kháng lúc không tải:

$$Z_0 = \frac{U_{1đm}}{I_{10}} \quad (3.16)$$

$$r_0 = \frac{P_0}{I_{10}^2} \quad (3.17)$$

$$x_0 = \sqrt{Z_0^2 - r_0^2} \quad (3.18)$$

- Hệ số công suất và tỷ số biến đổi lúc không tải:

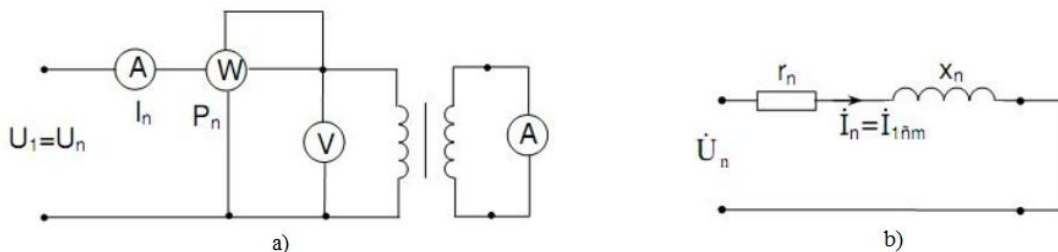
$$\cos \varphi_0 = \frac{P_0}{U_{1đm} I_{10}} \quad (3.19)$$

$$K_0 = \frac{w_1}{w_2} = \frac{U_{1đm}}{U_{20}} \quad (3.20)$$

- Các phương trình quy đổi khi không tải:

$$\begin{cases} \dot{U}_1 = -\dot{E}_1 + \dot{I}_0 Z_1 \\ \dot{U}'_{20} = \dot{E}'_2 \\ \dot{I}_1 = \dot{I}_0 \end{cases} \quad (3.21)$$

3.2.2.4. Thí nghiệm ngắn mạch



Hình 3.4. a) Sơ đồ thí nghiệm ngắn mạch máy biến áp một pha.

b) Mạch điện thay thế của máy biến áp lúc ngắn mạch.

- Tổng trở, điện trở, điện kháng lúc ngắn mạch:

$$Z_n = \frac{U_{1n}}{I_{1đm}} \text{ hay } Z_n = Z_1 + Z'_2 \quad (3.22)$$

$$r_n = \frac{P_n}{I_{1đm}^2} \text{ hay } r_n = r_1 + r'_2 \quad (3.23)$$

$$x_n = \sqrt{Z_n^2 - r_n^2} \text{ hay } x_n = x_1 + x'_2 \quad (3.24)$$

- Hệ số công suất lúc ngắn mạch:

$$\cos \varphi_n = \frac{U_{nr}}{U_n} \quad (3.25)$$

Với: $U_{nr} = I_n r_n$ là điện áp rơi trên điện trở.

$U_{nx} = j I_n x_n$ là điện áp rơi trên điện kháng.

- Các thành phần điện áp ngắn mạch:

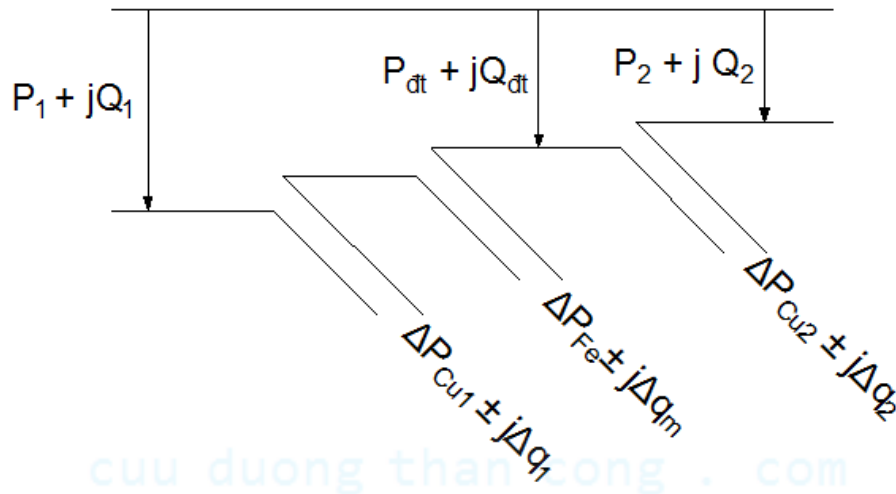
$$U_n \% = \frac{U_n}{U_{dm}} \cdot 100 = \frac{I_{1dm} Z_n}{U_{1dm}} \cdot 100 \quad (3.26)$$

$$U_{nr} \% = \frac{U_{nr}}{U_{dm}} \cdot 100 = \frac{I_{1dm} r_n}{U_{1dm}} \cdot 100 = \frac{P_n}{S_{dm}} 100 \quad (3.27)$$

$$U_{nx} \% = \frac{U_{nx}}{U_{dm}} \cdot 100 = \frac{I_{1dm} x_n}{U_{1dm}} \cdot 100 = \frac{Q_n}{S_{dm}} 100 \quad (3.28)$$

$$= \sqrt{(U_n \%)^2 - (U_{nr} \%)^2}$$

3.2.2.5. Quá trình năng lượng trong máy biến áp



Hình 3.5. Giải đồ năng lượng của máy biến áp.

a. Công suất tác dụng

- Công suất tác dụng đầu vào:

$$P_1 = U_1 I_1 \cos \varphi_1 \quad (3.29)$$

- Tổn hao trên điện trở dây quấn sơ cấp:

$$\Delta P_{Cu1} = I_1^2 r_1 \quad (3.30)$$

- Tổn hao trên điện trở trong lõi thép:

$$\Delta P_{Fe} = I_0^2 r_m \quad (3.31)$$

- Công suất điện từ truyền sang phía thứ cấp:

$$P_{đt} = P_1 - \Delta P_{Cu1} - \Delta P_{Fe} \quad (3.32)$$

- Công suất đầu ra của máy biến áp:

$$P_2 = P_{đt} - \Delta P_{Cu2} = U_2 I_2 \cos \varphi_2 \quad (3.33)$$

b. Công suất phản kháng

- Công suất phản kháng đầu vào:

$$Q_1 = U_1 I_1 \sin \varphi_1 \quad (3.34)$$

- Tổn hao để thành lập từ trường tản của dây quấn sơ cấp:

$$\Delta q_1 = I_1^2 x_1 \quad (3.35)$$

- Tổn hao để thành lập từ trường tản trong lõi thép:

$$\Delta q_m = I_0^2 x_m \quad (3.36)$$

- Công suất điện từ truyền sang phía thứ cấp:

$$Q_{đt} = Q_1 - \Delta q_1 - \Delta q_m \quad (3.37)$$

- Công suất phản kháng đầu ra của máy biến áp:

$$Q_2 = Q_{đt} - \Delta q_2 = U_2 I_2 \sin \varphi_2 \quad (3.38)$$

c. Hiệu suất của máy biến áp

$$\eta\% = \frac{P_2}{P_1} \cdot 100 = \frac{K_t S_{đm} \cos \varphi_2}{K_t S_{đm} \cos \varphi_2 + K_t^2 P_n + P_0} \cdot 100 \quad (3.39)$$

Với: $K_t = \frac{I_2}{I_{2đm}} = \frac{S}{S_{đm}}$ là hệ số tải.

$$K_t = \sqrt{\frac{P_0}{P_n}} \text{ khi } \eta_{max}.$$

3.2.2.6. Độ thay đổi điện áp của máy biến áp

$$\begin{aligned}\Delta U\% &= K_t (U_{nr}\% \cdot \cos\varphi_2 + U_{nx}\% \cdot \sin\varphi_2) \\ &= \frac{U'_{20} - U'_2}{U'_{20}} \cdot 100 = \frac{U_{1đm} - U'_2}{U_{1đm}} \cdot 100\end{aligned}\quad (3.40)$$

3.2.3. MÁY BIẾN ÁP BA PHA LÀM VIỆC VỚI TẢI ĐỐI XỨNG

3.2.3.1. Ghép máy biến áp làm việc song song

Điều kiện ghép máy biến áp làm việc song song:

- Cùng tổ nối dây.
- Hệ số máy biến áp của các máy bằng nhau.
- Điện áp ngắn mạch U_n bằng nhau.

a. Điều kiện 1: Cùng tổ nối dây

Giả sử máy biến áp I có tổ nối dây Y/ Δ – 11, máy biến áp II có tổ nối dây Y/Y – 12.

Điện áp thứ cấp hai máy biến áp lệch pha nhau 30° nên trong mạch nối liền thứ cấp hai máy có sức điện động:

$$\Delta E = 2E_2 \sin 15^\circ = 0,518E_2 \quad (3.41)$$

Khi không tải trong cuộn sơ cấp và thứ cấp của các máy biến áp có dòng điện cân bằng:

$$I_{cb} = \frac{\Delta E}{Z_{nI} + Z_{nII}} \quad (3.42)$$

Với: z_{nI}, z_{nII} là tổng trở ngắn mạch của máy biến áp I và II.

Dòng I_{cb} lớn sẽ làm hỏng máy biến áp. Vì vậy khi làm việc song song hai máy biến áp bắt buộc phải cùng tổ nối dây.

b. Điều kiện 2: Hệ số máy biến áp của các máy bằng nhau

Cùng hệ số k để các máy gánh tải bằng nhau.

Thực tế cho phép hệ số biến áp K của các máy sai khác không quá 0,5%.

c. Điều kiện 3: Điện áp ngắn mạch U_n bằng nhau.

Để các máy biến áp làm việc song song làm việc định mức thì U_n bằng nhau.

Thực tế cho máy biến áp làm việc song song có U_n sai lệch so với trị số trung bình các máy biến áp ghép song song không quá 10%.

Khi có n máy biến áp làm việc song song thì công suất tải của máy biến áp thứ i là:

$$S_i = \frac{S}{\sum_{j=1}^n \frac{S_{dmj}}{U_{nj}\%}} \frac{S_{dmi}}{U_{ni}\%} \quad (3.43)$$

Với: S_i là công suất tải của máy biến áp thứ i .

S là công suất tải chung khi các máy biến áp làm việc song song.

3.2.3.2. Các máy biến áp đặc biệt

- Máy biến áp đo lường:
 - + Máy biến điện áp.
 - + Máy biến dòng điện.
- Máy biến áp chuyển đổi số pha.

3.3. BÀI TẬP ỨNG DỤNG

3.3.1. BÀI TẬP CÓ LỜI GIẢI

Bài 1: Máy biến áp giảm áp một pha lý tưởng (không bị sụt áp, không tổn hao, dòng điện không tải bằng không) có $S_{dm} = 500kVA$, $U_1/U_2 = 22000/220V$, máy biến áp được nối vào lưới điện có điện áp 22kV, $f = 60Hz$, từ thông cực đại trong lõi thép lúc này là 0.0682Wb. Xác định số vòng của dây quấn sơ cấp. Nếu điện áp tăng 20% và tần số giảm 5%, xác định từ thông mới trong lõi thép.

GIẢI:

Theo công thức (3.2) suy ra số vòng dây của cuộn sơ cấp:

$$w_1 = \frac{E_1}{4,44f\phi_m} = \frac{U_1}{4,44f\phi_m} = \frac{22000}{4,44 \times 60 \times 0,0682} = 1211 \text{ v}$$

Từ thông trong lõi thép khi điện áp tăng và tần số tăng:

$$\phi_m = \frac{1,2U_1}{4,44 \times 0,95f \times N_1} = \frac{1,2 \times 22000}{4,44 \times 0,95 \times 60 \times 1211} = 0,0861 \text{ Wb}$$

Bài 2: Máy biến áp giảm áp một pha lý tưởng $U_1/U_2 = 2400/120V$. Máy được nối vào lưới điện có điện áp 2,4 kV. Từ thông hình sin trong lõi thép lúc này là $\phi = 0,1125\sin 188,5t \text{ Wb}$. Xác định số vòng của dây quấn sơ cấp và thứ cấp.

GIẢI:

Tần số của nguồn điện:

$$f = \frac{\omega}{2\pi} = \frac{188,5}{2\pi} = 30 \text{ Hz}$$

Theo công thức (3.2) suy ra số vòng dây của cuộn sơ cấp:

$$w_1 = \frac{E_1}{4,44f\phi_m} = \frac{U_1}{4,44f\phi_m} = \frac{2400}{4,44 \times 30 \times 0,1125} = 160 \text{ vg}$$

Theo công thức (3.4) ta có hệ số biến đổi máy biến áp:

$$K = \frac{U_1}{U_2} = \frac{2400}{120} = 20$$

Từ công thức (3.4) suy ra số vòng dây cuộn thứ cấp:

$$w_2 = \frac{w_1}{K} = \frac{160}{20} = 8 \text{ vg}$$

Bài 3: Máy biến áp một pha có công suất $S_{dm} = 37,5kVA$, $U_{1dm} = 2400V$, $U_{2dm} = 480V$, $f = 60Hz$, tiết diện ngang của lõi thép bằng $95cm^2$. Khi đặt vào dây quấn sơ cấp điện áp 2400V thì cường độ từ trường là $352A/m$ và từ trường cực đại là $1,505T$. Xác định:

- Hệ số biến đổi điện áp.
- Số vòng dây của mỗi dây quấn.

GIẢI:

- Tính hệ số biến đổi điện áp

Theo công thức (3.4) ta có hệ số biến đổi máy biến áp:

$$K = \frac{U_1}{U_2} = \frac{2400}{480} = 5$$

- Tính số vòng dây trong mỗi dây quấn

Từ thông cực đại trong lõi thép:

$$\phi_m = B_{max}S = 1,505 \times (95 \times 10^{-4}) = 0,0143 \text{ T}$$

Theo công thức (3.2) suy ra số vòng dây của cuộn sơ cấp:

$$w_1 = \frac{E_1}{4,44f\phi_m} = \frac{U_1}{4,44f\phi_m} = \frac{2400}{4,44 \times 60 \times 0,0143} = 630 \text{ vg}$$

Từ công thức (3.4) suy ra số vòng dây cuộn thứ cấp:

$$w_2 = \frac{w_1}{k} = \frac{630}{5} = 126 \text{ vg}$$

Bài 4: Xét máy biến áp một pha lý tưởng (không bị sụt áp, không tổn hao, dòng điện không tải bằng không). Cuộn dây sơ cấp có 400 vòng, cuộn thứ cấp có 800 vòng. Tiết diện ngang của lõi thép bằng 40cm^2 . Nếu cuộn dây sơ cấp được đấu vào nguồn 600V, 60Hz, hãy tính:

a. Từ cảm cực đại trong lõi thép.

b. Điện áp thứ cấp.

GIẢI:

a. Tính từ cảm cực đại trong lõi thép

Theo công thức (3.2) suy ra từ thông cực đại trong lõi thép:

$$\phi_m = \frac{E_1}{4,44fw_1} = \frac{U_1}{4,44fw_1} = \frac{600}{4,44 \times 60 \times 400} = 0,00563 \text{ Wb}$$

Từ cảm cực đại trong lõi thép:

$$B_{max} = \frac{\phi_m}{S} = \frac{0,00563}{40 \times 10^{-4}} = 1,4075 \text{ T}$$

b. Tính điện áp thứ cấp

Theo công thức (3.4) ta có hệ số biến đổi máy biến áp:

$$K = \frac{N_1}{N_2} = \frac{400}{800} = 0,5$$

Từ công thức (3.4) suy ra điện áp thứ cấp:

$$U_2 = \frac{U_1}{K} = \frac{600}{0,5} = 1200\text{V}$$

Bài 5: Cho máy biến áp một pha lý tưởng (không bị sụt áp, không tổn hao, dòng điện không tải bằng không) 20kVA, 1200V/120V.

- Tính dòng định mức sơ cấp và thứ cấp.
- Nếu máy cấp cho tải 12kW có hệ số công suất bằng 0,8. Tính dòng sơ và thứ cấp.

GIẢI:

- Tính dòng định mức sơ cấp và thứ cấp

Theo công thức (3.5) ta có dòng định mức sơ cấp:

$$I_{1dm} = \frac{S}{U_{1dm}} = \frac{20 \times 10^3}{1200} = 16,667A$$

Theo công thức (3.4) ta có hệ số biến đổi máy biến áp:

$$K = \frac{U_{1dm}}{U_{2dm}} = \frac{1200}{120} = 10$$

Từ công thức (3.4) suy ra dòng điện định mức thứ cấp:

$$I_{2dm} = I_{1dm} \times K = 16,667 \times 10 = 166,67A$$

- Tính dòng sơ và thứ cấp

Từ công thức (3.33) suy ra dòng điện thứ cấp khi có tải:

$$I_2 = \frac{P_2}{U_{2dm} \cos \varphi_2} = \frac{12 \times 10^3}{120 \times 0,8} = 125A$$

Từ công thức (3.4) suy ra dòng điện sơ cấp khi có tải:

$$I_1 = \frac{I_2}{K} = \frac{125}{10} = 12,5A$$

Bài 6: Cho máy biến áp một pha lý tưởng (không bị sụt áp, không tổn hao, dòng điện không tải bằng không) có tỷ số vòng dây là 4:1. Điện áp thứ cấp là $120\angle 0^\circ V$. Người ta đấu một tải $Z_t = 10\angle 30^\circ \Omega$ vào thứ cấp. Hãy tính:

- Điện áp sơ cấp.
- Dòng điện sơ cấp và thứ cấp.
- Tổng trở tải quy về sơ cấp.

GIẢI:

a. Tính điện áp sơ cấp

Từ công thức (3.4) suy ra điện áp sơ cấp:

$$\dot{U}_1 = \dot{U}_2 \times K = 120\angle 0^\circ \times 4 = 480\angle 0^\circ V$$

b. Tính dòng điện sơ cấp và thứ cấp.

Dòng điện thứ cấp:

$$\dot{I}_2 = \frac{\dot{U}_2}{Z_t} = \frac{120\angle 0^\circ}{10\angle 30^\circ} = 12\angle -30^\circ A$$

Dòng điện sơ cấp:

$$\dot{I}_1 = \frac{\dot{I}_2}{K} = \frac{12\angle -30^\circ}{4} = 3\angle -30^\circ A$$

c. Tính tổng trở quy đổi về sơ cấp

$$Z'_t = K^2 Z_t = 4^2 \times 10\angle 30^\circ = 160\angle 30^\circ \Omega$$

Bài 7: Cho máy biến áp tăng áp một pha lý tưởng (không bị sụt áp, không tổn hao, dòng điện không tải bằng không) 50kVA, 400V/2000V cung cấp cho tải 40kVA có hệ số công suất 0,8 (tải R-L). Tính:

a. Tổng trở tải.

b. Tổng trở tải quy về sơ cấp.

GIẢI:

a. Tính tổng trở tải

$$Z_t = \frac{U_2^2}{S_t} = \frac{2000^2}{40 \times 10^3} = 100\Omega$$

b. Tính tổng trở tải quy về sơ cấp

Do tải có tính chất cảm kháng với $\cos\varphi = 0,8$ nên $\varphi = 36,87^\circ$. Do vậy ta có:

$$Z_t = 100\angle 36,87^\circ \Omega$$

Theo công thức (3.4) ta có hệ số biến đổi máy biến áp:

$$K = \frac{U_1}{U_2} = \frac{400}{2000} = 0,2$$

Tổng trở tải quy về sơ cấp:

$$Z'_t = K^2 Z_t = 0,2^2 \times 100 \angle 36,87^\circ = 4 \angle 36,87^\circ \Omega$$

Bài 8: Cho máy biến áp một pha lý tưởng (không bị sụt áp, không tổn hao, dòng điện không tải bằng không) có tỷ số vòng dây là 180:45. Điện trở sơ và thứ cấp lần lượt bằng 0,242Ω và 0,076Ω. Tính điện trở tương đương quy về sơ cấp.

GIẢI:

Theo công thức (3.4) ta có hệ số biến đổi máy biến áp:

$$K = \frac{N_1}{N_2} = \frac{180}{45} = 4$$

Theo công thức (3.13) ta có điện trở thứ cấp quy đổi về sơ cấp:

$$r'_2 = K^2 r_2 = 4^2 \times 0,076 = 1,216 \Omega$$

Điện trở tương đương:

$$R_{td} = r_1 + r'_2 = 0,242 + 1,216 = 1,458 \Omega$$

Bài 9: Cho máy biến áp một pha lý tưởng (không bị sụt áp, không tổn hao, dòng điện không tải bằng không) có số vòng dây bằng 220: 500. Phía sơ cấp đấu vào nguồn điện áp 220V, phía thứ cấp cung cấp cho tải 10kVA. Hãy tính:

- Điện áp trên tải.
- Dòng điện thứ cấp và sơ cấp.
- Tổng trở tương đương của máy nhìn từ nguồn.

GIẢI:

- Tính điện áp trên tải

Theo công thức (3.4) ta có hệ số biến đổi máy biến áp:

$$K = \frac{N_1}{N_2} = \frac{220}{500} = 0,44$$

Từ công thức (3.4) suy ra điện áp trên tải:

$$U_2 = \frac{U_1}{K} = \frac{220}{0,44} = 500V$$

- Tính dòng điện sơ cấp và thứ cấp

Theo công thức (3.5) ta có dòng điện thứ cấp:

$$I_2 = \frac{S}{U_2} = \frac{10 \times 10^3}{500} = 20A$$

Từ công thức (3.4) suy ra dòng điện sơ cấp:

$$I_1 = \frac{I_2}{K} = \frac{20}{0,44} = 45,454A$$

c. Tính tổng trở tương đương nhìn từ nguồn

$$Z = \frac{U_1}{I_1} = \frac{20}{45,454} = 4,84\Omega$$

Bài 10: Máy biến áp một pha lý tưởng có điện áp $U_1/U_2 = 7200/240V$, máy biến áp vận hành tăng áp và được nối vào lưới điện có điện áp $220V$, $f = 60Hz$, thứ cấp được nối với phụ tải có tổng trở $144\angle 46^\circ\Omega$. Hãy xác định:

- Điện áp, dòng điện thứ cấp và sơ cấp.
- Tổng trở tải quy đổi về dây quấn sơ cấp.
- Công suất tác dụng, phản kháng và biểu kiến phía sơ cấp.

GIẢI:

a. Tính điện áp, dòng điện thứ cấp và sơ cấp

Theo công thức (3.4) ta có hệ số biến đổi máy biến áp:

$$K = \frac{U_1}{U_2} = \frac{240}{7200} = 0,0333$$

Từ công thức (3.4) suy ra điện áp thứ cấp:

$$U_2 = \frac{U_1}{K} = \frac{220}{0,0333} = 6606V$$

Dòng điện thứ cấp:

$$\dot{I}_2 = \frac{\dot{U}_2}{Z_t} = \frac{6606\angle 0^\circ}{144\angle 46^\circ} = 45,875\angle -46^\circ A$$

Từ công thức (3.4) suy ra dòng điện sơ cấp:

$$\dot{I}_1 = \frac{\dot{I}_2}{K} = \frac{45,875\angle -46^\circ}{0,0333} = 1377\angle -46^\circ A$$

b. Tính tổng trở tải quy đổi về dây quấn sơ cấp

Tổng trở quy đổi về sơ cấp:

$$Z'_t = K^2 Z_t = 0,0333^2 \times 144 \angle 46^\circ = 0,162 \angle 46^\circ \Omega = (0,112 + 0,116j) \Omega$$

c. Tính công suất tác dụng, phản kháng và biểu kiến phía sơ cấp

Công suất tác dụng phía sơ cấp:

$$P = I_1^2 R_{td} = 1377^2 \times 0,112 = 2102,128W$$

Công suất phản kháng phía sơ cấp:

$$Q = I_1^2 X_{td} = 1377^2 \times 0,116 = 219951Var$$

Công suất biểu kiến phía sơ cấp:

$$S = \sqrt{P^2 + Q^2} = \sqrt{(2102,128)^2 + (219951)^2} = 219961VA$$

3.3.2. BÀI TẬP CÓ ĐÁP SỐ

Bài 1: Máy biến áp ba pha có $S_{dm} = 1000kVA$, $U_1/U_2 = 10/0,4 kV$, đấu Y/Y₀, $P_n = 12500W$, $U_n\% = 5,5\%$.

a. Tính các thành phần của điện áp ngắn mạch phần trăm $U_{nr}\%$ và $U_{nx}\%$.

b. Tính độ thay đổi điện áp $\Delta U\%$ khi máy biến áp làm việc ở 3/4 tải định mức và $\cos \varphi_2 = 0,8$.

Đáp số: a. $U_{nr} = 1,25\%$; $U_{nx} = 5,35\%$.

b. $\Delta U\% = 3,16\%$.

Bài 2: Máy biến áp một pha có $S_{dm} = 6667kVA$, $U_{1dm} = 35kV$, $U_{2dm} = 10kV$, $P_n = 53,5kW$, $P_0 = 17kW$, $U_n\% = 8\%$, $I_0\% = 3\%$. Hãy xác định:

a. Hệ số biến đổi máy biến áp.

b. Dòng điện định mức cuộn dây sơ cấp và thứ cấp.

c. Điện áp thứ cấp U_2 của máy biến áp khi hệ số tải $K_t = 1/2$ và $\cos \varphi_t = 0,8$. Cho rằng phụ tải có tính chất điện cảm.

d. Hiệu suất máy biến áp khi hệ số tải $K_t = 3/4$ và $\cos \varphi_t = 0,9$.

Đáp số: a. $K = 3,5$.

b. $I_{1\text{đm}} = 190A; I_{2\text{đm}} = 666,7A.$

c. $U_2 = 9790V.$

d. $\eta = 99\%.$

Bài 3: Máy biến áp ba pha có $S_{\text{đm}} = 160kVA$, $U_{1\text{đm}} = 15kV$, $U_{2\text{đm}} = 400V$, $P_n = 2350W$, $P_0 = 460W$, $U_n\% = 4\%$, dây quấn đầu Y/Y-12. Cho biết $r_1 = r'_2, x_1 = x'_2$. Tính:

a. $I_{1\text{đm}}, I_{2\text{đm}}, r_n, x_n, r_1, r_2, x_1, x_2.$

b. η khi $K_t = 0,75$, $\cos\varphi_t = 0,8.$

c. $\Delta U_2\%$, U_2 khi $K_t = 1$, $\cos\varphi_t = 0,8.$

Đáp số:

a. $I_{1\text{đm}} = 6,16A; I_{2\text{đm}} = 230,95A; r_n = 20,64\Omega; x_n = 52,31\Omega; r_1 = 10,32\Omega; r_2 = 7,34m\Omega; x_1 = 26,15\Omega; x_2 = 18,6m\Omega.$

b. $\eta = 0,98.$

c. $\Delta U\% = 3,4\%; U_2 = 386,4V.$

Bài 4: Cho máy biến áp làm việc song song với các số liệu sau:

Máy	$S_{\text{đm}}(kVA)$	$U_{1\text{đm}}(kV)$	$U_{2\text{đm}}(kV)$	$U_n\%$	Tổ nối dây
I	1000	35	6,3	6,25	Y/ Δ -11
II	1800	35	6,3	6,6	Y/ Δ -11
III	2400	35	6,3	7	Y/ Δ -11

Tính:

a. Tải của mỗi máy biến áp khi tải chung là 4500kVA.

b. Tải lớn nhất có thể cung cấp cho hệ dùng điện với điều kiện không có máy biến áp nào quá tải.

c. Giả sử máy biến áp I được phép quá tải 20% thì tải chung của các máy là bao nhiêu?

Đáp số: a. $S_I = 928kVA$; $S_{II} = 1582kVA$; $S_{III} = 1990kVA$.

b. $S = 4847kVA$.

c. $S = 5816,85kVA$.

Bài 5: Một máy biến áp lý tưởng một pha 480/120V, 50Hz có dây quấn cao áp nối với lưới có điện áp 460V và dây quấn hạ áp nối với tải $24\angle 32,8^\circ \Omega$. Tính:

a. Điện áp và dòng điện thứ cấp.

b. Dòng điện sơ cấp.

c. Tổng trở vào nhìn từ phía sơ cấp.

d. Công suất tác dụng, công suất phản kháng và dung lượng mà tải tiêu thụ.

Đáp số: a. $U_2 = 115V$; $I_2 = 4,79\angle -32,8^\circ A$.

b. $I_1 = 1,1975\angle -32,8^\circ A$.

c. $P_2 = 463W$; $Q_2 = 298,4Var$; $S_2 = 550,85VA$.

3.4. CÂU HỎI TRẮC NGHIỆM

Câu 1. Máy điện tĩnh làm việc theo nguyên lý cảm ứng điện từ, giữa những cuộn dây không có chuyển động tương đối với nhau. Loại máy điện tĩnh thông dụng là:

a. Động cơ điện.

b. Máy điện một chiều.

c. Máy phát điện.

d. Máy biến áp.

Câu 2. Góc pha của sức điện động trong dây quấn máy biến áp so với góc pha của từ trường sinh ra nó:

a. Chậm pha $\frac{\pi}{2}$.

b. Chậm pha $\frac{\pi}{4}$.

c. Nhanh pha $\frac{\pi}{2}$.

d. Nhanh pha $\frac{\pi}{4}$.

Câu 3. Trong máy biến áp, bộ phận dẫn điện là:

a. Lõi thép.

b. Dây quấn.

c. Vỏ máy.

d. Bình giãn dầu.

Câu 4. Trong máy biến áp, bộ phận dùng làm mạch dẫn từ là:

- a. Lõi thép.
- b. Dây quấn.
- c. Vỏ máy.
- d. Bình giãn dầu.

Câu 5. Ký hiệu $Y/\Delta - 12$ trên máy biến áp có nghĩa là gì:

- a. Máy đấu sao/tam giác, góc lệch pha giữa véc tơ sức điện động sơ cấp đến véc tơ sức điện động thứ cấp theo chiều kim đồng hồ là 180^0 .
- b. Máy đấu tam giác/sao, góc lệch pha giữa véc tơ sức điện động sơ cấp đến véc tơ sức điện động thứ cấp theo chiều kim đồng hồ là 270^0 .
- c. Máy đấu sao/tam giác, góc lệch pha giữa véc tơ sức điện động sơ cấp đến véc tơ sức điện động thứ cấp theo chiều kim đồng hồ là 360^0 .
- d. Máy đấu tam giác/sao, góc lệch pha giữa véc tơ sức điện động sơ cấp đến véc tơ sức điện động thứ cấp theo chiều kim đồng hồ là 0^0 .

Câu 6. Khi tải có tính chất cảm kháng thì:

- a. $0 < \varphi_2 < 90^0$.
- b. $90^0 < \varphi_2 < 180^0$.
- c. $180^0 < \varphi_2 < 270^0$.
- d. $270^0 < \varphi_2 < 360^0$.

Câu 7. Khi tải có tính chất điện dung thì:

- a. $0 < \varphi_2 < 90^0$.
- b. $90^0 < \varphi_2 < 180^0$.
- c. $180^0 < \varphi_2 < 270^0$.
- d. $270^0 < \varphi_2 < 360^0$.

Câu 8. Lõi thép của máy biến áp được ghép từ các lá thép kỹ thuật điện để :

- a. giảm tổn hao do dòng xoáy.
- b. giảm tổn hao do từ trễ.
- c. giảm tổn hao công suất phản kháng.
- d. giảm tổn hao công suất tác dụng.

Câu 9. Từ thí nghiệm ngắn mạch để xác định các tham số của máy biến áp, có thể xác định được các tham số nào của máy biến áp?

- a. $z_n = |Z_1 + Z_2'|$; $r_n = r_1 + r_2'$; $x_n = x_1 + x_2'$.
- b. z_1, r_1, x_1 .
- c. $z_0 = |Z_1 + Z_m|$; $r_0 = r_1 + r_m$; $x_0 = x_1 + x_m$.
- d. z_2', r_2', x_2' .

Câu 10. Chọn dạng đúng cho phương trình cân bằng sức điện động mạch sơ cấp của máy biến áp:

a. $U_1 = -E_1 + I_1 Z_1.$

b. $u_1 = -e_1 + i_1 z_1.$

c. $\dot{U}_1 = -\dot{E}_1 + \dot{I}_1 Z_1.$

d. $\dot{U}_1 = \dot{E}_1 - \dot{I}_1 Z_1.$

Câu 11. Chọn dạng đúng cho phương trình cân bằng sức điện động mạch thứ cấp của máy biến áp:

a. $U_2 = -E_2 + I_2 Z_2.$

b. $u_2 = -e_2 + i_2 z_2.$

c. $\dot{U}_2 = -\dot{E}_2 + \dot{I}_2 Z_2.$

d. $\dot{U}_2 = \dot{E}_2 - \dot{I}_2 Z_2.$

Câu 12. Chọn dạng đúng cho phương trình cân bằng sức từ động sau quy đổi của máy biến áp:

a. $\dot{I}_1 = \dot{I}_0 + \dot{I}_2'.$

b. $\dot{I}_1 = \dot{I}_0 + (-\dot{I}_2').$

c. $i_1 = i_0 + (-i_2').$

d. $I_1 = I_0 + (-I_2').$

Câu 13. Từ thí nghiệm không tải máy biến áp, có thể xác định được các tham số nào của máy biến áp?

a. $z_0 = |Z_1 + Z_m|; r_0 = r_1 + r_m; x_0 = x_1 + x_m.$

b. $z_1, r_1, x_1.$

c. $z_m, r_m, x_m.$

d. $z_2', r_2', x_2'.$

Câu 14. Công suất tác dụng đo được trong thí nghiệm không tải có thể coi gần đúng là:

a. tổn hao đồng trong dây quấn sơ cấp.

b. tổn hao sắt trong lõi thép.

c. tổn hao đồng trên dây quấn thứ cấp.

d. tổn hao đồng trên dây quấn sơ cấp và thứ cấp máy biến áp.

Câu 15. Khi điện áp đặt vào sơ cấp máy biến áp không đổi và bỏ qua sụt áp trong máy biến áp, khi tải thứ cấp giảm, tổn hao sắt trong máy biến áp thay đổi thế nào?

a. Thay đổi giảm.

b. Thay đổi tăng.

c. Không thay đổi.

d. Có thể tăng hoặc giảm tùy thuộc vào tính chất của tải.

Câu 16. Trong thí nghiệm không tải để xác định các tham số của máy biến áp, trị số điện áp đặt vào sơ cấp:

- a. tăng dần từ không đến định mức.
- b. giảm dần từ định mức về không.
- c. tăng dần từ không đến trị số lớn hơn định mức, nhưng trong phạm vi cho phép của máy biến áp.
- d. bằng trị số điện áp định mức.

Câu 17. Tại sao không nên vận hành máy biến áp lúc không tải hoặc non tải?

- a. Vì hệ số $\cos\varphi$ của máy biến áp khi đó thấp.
- b. Vì không tận dụng hết công suất của máy biến áp.
- c. Vì tổn hao công suất trên đường dây tải điện tăng.
- d. Vì tổn hao điện áp trên đường dây tải điện tăng.

Câu 18. Một cách chính xác, công suất tác dụng đo được trong thí nghiệm không tải (để xác định các tham số của máy biến áp) là:

- a. tổn hao trong lõi thép của máy biến áp.
- b. tổn hao đồng trên dây quấn sơ cấp khi không tải và tổn hao sắt trong lõi thép.
- c. tổn hao đồng trên dây quấn và tổn hao sắt trong lõi thép.
- d. tổn hao đồng trên các dây quấn của máy biến áp.

Câu 19. Một cách chính xác, công suất tác dụng đo được trong thí nghiệm ngắn mạch để xác định các tham số của máy biến áp là:

- a. tổn hao đồng trong các dây quấn của máy biến áp ứng với tải định mức.
- b. tổn hao đồng trong các dây quấn của máy biến áp khi có tải.
- c. tổn hao đồng trong các dây quấn của máy biến áp ứng với tải định mức và tổn hao sắt trong lõi thép ứng với điện áp U_n đặt vào sơ cấp khi thí nghiệm ngắn mạch.
- d. tổn hao đồng trong các dây quấn của máy biến áp khi có tải và tổn hao sắt trong lõi thép ứng với điện áp U_n đặt vào sơ cấp khi thí nghiệm ngắn mạch.

Câu 20. Trong thí nghiệm ngắn mạch để xác định các tham số của máy biến áp, độ lớn điện áp đặt vào dây quấn sơ cấp được xác định trên cơ sở :

- a. dòng điện sơ cấp và thứ cấp không vượt quá $1,2I_{dm}$.
- b. dòng điện sơ cấp và thứ cấp bằng định mức.
- c. dòng điện sơ cấp và thứ cấp không vượt quá định mức.
- d. dòng điện sơ cấp bằng định mức.

Câu 21. Điện áp U_n đặt vào sơ cấp máy biến áp trong thí nghiệm ngắn mạch để xác định các tham số của máy biến áp là :

- a. điện áp rơi trên tổng trở của máy biến áp ở tải định mức.
- b. điện áp rơi trên tổng trở của máy biến áp khi có tải.
- c. điện áp rơi trên tổng trở của máy biến áp ở tải định mức và có tính chất điện cảm.
- d. điện áp rơi trên tổng trở của máy biến áp ở tải định mức và có tính chất điện dung.

Câu 22. Độ thay đổi điện áp của máy biến áp là :

- a. Hiệu số số học giữa điện áp thứ cấp lúc không tải và lúc có tải trong điều kiện điện áp đặt vào sơ cấp bằng định mức không đổi và tần số bằng định mức không đổi, thường được tính theo phần trăm.
- b. Hiệu số số học giữa các trị số điện áp thứ cấp lúc không tải và lúc có tải trong điều kiện điện áp đặt vào sơ cấp bằng định mức không đổi và tần số bằng định mức không đổi, thường được tính theo phần trăm.
- c. Hiệu số số học giữa các trị số điện áp thứ cấp lúc không tải và lúc có tải định mức trong điều kiện điện áp đặt vào sơ cấp bằng định mức không đổi và tần số bằng định mức không đổi, thường được tính theo phần trăm.
- d. Hiệu số số học giữa các trị số điện áp thứ cấp lúc không tải và lúc có tải trong điều kiện điện áp đặt vào sơ cấp không đổi và tần số không đổi, thường được tính theo phần trăm.

Câu 23. Chọn biểu thức định nghĩa đúng cho độ thay đổi điện áp của máy biến áp ?

$$a. \quad \Delta U\% = \frac{U'_{20} - U'_2}{U'_{20}} \cdot 100 = \frac{U_{1dm} - U'_2}{U_{1dm}} \cdot 100$$

$$b. \quad \Delta U\% = \frac{U'_{20} - U'_2}{U'_{20}} \cdot 100 = \frac{U_{1dm} - U'_2}{U'_2} \cdot 100$$

$$c. \quad \Delta U\% = \frac{\dot{U}_{20} - \dot{U}_2}{\dot{U}_{20}} \cdot 100 = \frac{\dot{U}_{1dm} - \dot{U}_2}{\dot{U}_{1dm}} \cdot 100$$

$$d. \quad \Delta U\% = \frac{\dot{U}_{20} - \dot{U}_2}{\dot{U}_{20}} \cdot 100 = \frac{\dot{U}_{1dm} - \dot{U}_2}{\dot{U}_2} \cdot 100$$

Câu 24. Chọn biểu thức kết luận đúng cho độ thay đổi điện áp của máy biến áp ?

$$a. \quad \Delta \dot{U}\% = \frac{\Delta \dot{U}}{\dot{U}_{1dm}} 100 = K_t \left(\frac{\dot{U}_{nr}}{\dot{U}_{1dm}} 100 \cos \varphi_2 + \frac{\dot{U}_{nx}}{\dot{U}_{1dm}} 100 \sin \varphi_2 \right)$$

$$b. \quad \Delta \dot{U}\% = K_t (U_{nr}\% \cdot \cos \varphi_2 + U_{nx}\% \cdot \sin \varphi_2)$$

$$c. \quad \Delta U\% = K_t (U_{nr}\% \cdot \cos \varphi_2 + U_{nx}\% \cdot \sin \varphi_2)$$

$$d. \quad \Delta \dot{U}\% = \frac{\Delta \dot{U}}{\dot{U}_{1dm}} = K_t \left(\frac{\dot{U}_{nr}}{\dot{U}_{1dm}} \cos \varphi_2 + \frac{\dot{U}_{nx}}{\dot{U}_{1dm}} \sin \varphi_2 \right)$$

Câu 25. Một máy biến áp có cuộn sơ cấp 1000 vòng được mắc vào một mạng điện xoay chiều có điện áp 220V. Khi đó hiệu điện thế đặt ở hai đầu cuộn thứ cấp để hở là 484V. Bỏ qua mọi hao phí của máy biến áp. Số vòng dây của cuộn thứ cấp là:

a. 1000.

b. 2000.

c. 2200.

d. 2500.