

ТРАНСФОРМАТОРИ – ПРИНЦИП НА ДЕЙСТВИЕ. ОСНОВНИ УРАВНЕНИЯ. РЕЖИМИ НА РАБОТА

Пример 1 Еднофазен трансформатор има две намотки – първична със съпротивление $R_1=6\Omega$ и вторична със съпротивление $R_2=2\Omega$. Трансформаторът има коефициент на трансформация $k_{TP}=2$ и е захранен с номиналното си напрежение $U_1=U_{1H}=150V$. Когато към вторичната му намотка се включи резистор със съпротивление $R_L=25\Omega$, първичната намотка консумира пълна мощност $S_1=S_{1H}=150VA$ и работи с коефициент на мощността $\cos\varphi_{1H}=0.86$. Определете:

- A. Номиналните токове на двете намотки
- B. Загубите в медта на трансформатора при номинално натоварване
- C. Коефициента на полезно действие при номинално натоварване
- D. Номиналните загуби на мощност в стоманата на магнитопровода

Решение:

A. Пълната мощност консумирана от първичната намотка на трансформатора се определя със зависимостта $S_1=U_1I_1$. От този израз може да се определи първичния номинален ток I_{1H} , като отношение на номиналните пълна мощност и номинално първично напрежение:

$$I_{1H} = \frac{S_{1H}}{U_{1H}} = \frac{150VA}{150V} = 1A$$

Всички едноименни първични и вторични величини в трансформатора са свързани с неговия коефициент на трансформация.

$$k_{TP} = \frac{U_1}{U_2} = \frac{E_1}{E_2} = \frac{I_2}{I_1}$$

Тогава вторичния номинален ток ще се определи от:

$$I_2 = k_{TP}I_1 = 2 \cdot 1 = 2A$$

B. Загубите на мощност в медта на намотките отразяват загряването им при протичането на токове в тях. Тази мощност се определя от произведението на съпротивлението на намотката и квадрата на тока през



нея. Пълните загуби на мощност в медта на трансформатора са сума от загубите на мощност на всички намотки:

$$\Delta p_M = \sum_{k=1}^n \Delta p_{Mk} = \sum_{k=1}^n R_k I_k^2$$

За разглеждания трансформатор тези загуби имат големина:

$$\Delta p_M = \sum_{k=1}^2 \Delta p_{Mk} = R_1 I_1^2 + R_2 I_2^2 = 6 \cdot 1^2 + 2 \cdot 2^2 = 14W$$

С. Коефициентът на полезно действие на трансформатора се определя като отношение на активната мощност, отдадена от вторичната намотка на консуматора и постъпилата в първичната намотка на трансформатора активна мощност:

$$\eta = \frac{P_2}{P_1} = \frac{S_2 \cos \varphi_2}{S_1 \cos \varphi_1} = \frac{U_2 I_2 \cos \varphi_2}{U_1 I_1 \cos \varphi_1}$$

За разглеждания трансформатор е известно, че

$$P_1 = S_1 \cos \varphi_1 = 150VA \cdot 0.86 = 129W$$

В неговата вторична намотка е включен резистор който не дефазира тока спрямо напрежението, т.е. $\cos \varphi_2 = 1$. Тогава мощността отдадена на товара може да се определи чрез:

$$P_2 = S_2 \cos \varphi_2 = U_2 I_2 \cos \varphi_2 = U_2 I_2 = R_2 I_2^2 = 25 \cdot 2^2 = 100W$$

От получените мощности се изчислява и коефициента на полезно действие на трансформатора:

$$\eta = \frac{P_2}{P_1} = \frac{100W}{129W} = 0.775.$$

Д. Загубите в стоманата на магнитопровода зависят само от честотата и големината на захранващото напрежение, които не се променят с натоварването на трансформатора. Следователно тези загуби са постоянни и могат да се определят от диаграмата на мощностите му чрез:

$$\Delta p_{CT} = P_1 - P_2 - \Delta p_M = 129W - 100W - 14W = 15W$$



Европейски съюз

ПРОЕКТ BG051PO001--4.3.04-0042

„Организационна и технологична инфраструктура за учене през целия живот и развитие на компетенции”

Проектът се осъществява с финансовата подкрепа на Оперативна програма „Развитие на човешките ресурси”, съфинансирана от Европейския социален фонд на Европейския съюз

Инвестира във вашето бъдеще!



Европейски социален фонд

Пример 2 Силов еднофазен трансформатор има номинални загуби в медта на намотките и стоманата на магнитопровода съответно – $\Delta p_{MH}=40kW$ и $\Delta p_{CTH}=30kW$. Ако трансформаторът е натоварен с номинална си пълна мощност $S_{IH}=500kVA$ и работи с коефициент на мощността $\cos\varphi_1=0.80$, да се определят:

- A. Коефициента му на полезно действие.
- B. Коефициента му на полезно действие, ако натоварването е 50% от номиналното, а характерът на включения товар не се променя

Решение:

A. Коефициентът на полезно действие на трансформатора се определя като отношение на активните мощности във вторичната и първичната намотки. За разглеждания пример мощността в първичната страна на трансформатора се определя чрез:

$$P_1 = S_1 \cos \varphi_1 = 500kVA \cdot 0.80 = 400kW$$

Мощността във вторичната страна представлява разлика между първичната мощност и всички загуби на трансформатора при това натоварване:

$$P_2 = P_1 - \Delta p_{CTH} - \Delta p_{MH} = 400kW - 30kW - 40kW = 330kW$$

Тогава за коефициента на полезно действие при пълно натоварване се получава:

$$\eta = \frac{P_2}{P_1} = \frac{330kW}{400kW} = 0.825$$

B. Когато трансформаторът е натоварен с половината от номиналната си пълна мощност, а характера на включения това не се променя то първичната намотка ще работи със същия коефициент на мощността но при два пъти по-малка активна мощност:

$$P_1 = \frac{S_{IH}}{2} \cos \varphi_1 = \frac{500kVA}{2} \cdot 0.8 = 200kW$$

Мощността във вторичната страна представлява разлика между първичната мощност и всички загуби на трансформатора при съответното натоварване. Загубите в стоманата на магнитопровода не се влияят от натоварването ($\Delta p_{CT}=\Delta p_{CTH}=\text{const}$), но загубите в медта на намотките зависят от квадрата на токовете в тях. Следователно ако при едни и същи захранващи напрежения, консуматорите включени във вторичната намотка



Европейски съюз

ПРОЕКТ BG051PO001--4.3.04-0042

„Организационна и технологична инфраструктура за учене през целия живот и развитие на компетенции”

Проектът се осъществява с финансовата подкрепа на Оперативна програма „Развитие на човешките ресурси”, съфинансирана от Европейския социален фонд на Европейския съюз

Инвестира във вашето бъдеще!



Европейски социален фонд

изискват два пъти по-малко активна мощност, то и токовете които минават през тях и ще са два пъти по-малки. Тогава загубите в медта на намотките на трансформатора ще са четири пъти по-малки от номиналните и за активната мощност във вторичната страна се записва:

$$P_2 = P_1 - \Delta p_{CTH} - \frac{\Delta p_M}{4} = 200kW - 30kW - \frac{40kW}{4} = 160kW$$

Тогава коефициентът на полезно действие при 50% натоварване е:

$$\eta = \frac{P_2}{P_1} = \frac{160kW}{200kW} = 0.8$$

Пример 3 Първичната намотка на силов еднофазен трансформатор е захранена от източник на напрежение с ефективна стойност $U=100V$. Консуматорът включен във вторичната намотка на същия трансформатор пропуска през себе си ток $I_2=1A$ и поглъща активна мощност $P_2=30W$ при коефициент на мощността $\cos\varphi_2=0.60$. При такъв товар трансформаторът консумира активна мощност от източника $P_1=35W$. Определете:

- Ефективната стойност на тока в първичната намотка
- Коефициента на мощността в първичната намотка
- Пълните загуби на мощност в трансформатора
- Ефективните стойности на напрежението във вторичната намотка
- Активното и индуктивно съпротивление на консуматора

Решение:

A. Ефективната стойност на тока в първичната намотка може да се определи ако е известна пълната мощност консумирана от намотката - S_1 . Ако в израза за S_1 , участващите напрежение и ток на първичната намотка се заменят със съответните напрежение и ток на вторичната намотка коригирани с коефициента на трансформация, се установява, че:

$$S_1 = U_1 I_1 = U_2 k_{TP} \frac{I_2}{k_{TP}} = U_2 I_2 = S_2$$

Пълната мощност във вторичната намотка се определя от отношението на активната мощност и коефициента на мощността:

$$S_2 = \frac{P_2}{\cos \varphi_2} = \frac{30W}{0.6} = 50VA$$



Европейски съюз

ПРОЕКТ BG051PO001--4.3.04-0042

„Организационна и технологична инфраструктура за учене през целия живот и развитие на компетенции”

Проектът се осъществява с финансовата подкрепа на Оперативна програма „Развитие на човешките ресурси”, съфинансирана от Европейския социален фонд на Европейския съюз

Инвестира във вашето бъдеще!



Европейски социален фонд

При известна пълна мощност във вторичната намотка и известно захранващо напрежение на първичната намотка $U_1=U=100V$, може да се определи тока в първичната намотка:

$$I_1 = \frac{S_1}{U_1} = \frac{S_2}{U_1} = \frac{50VA}{100V} = 0.5A$$

В. Коефициентът на мощността в първичната намотка се определя от отношението на активната и пълна мощности на намотката:

$$\cos \varphi_1 = \frac{P_1}{S_1} = \frac{P_1}{S_2} = \frac{35W}{50VA} = 0.7$$

С. Пълните загуби на мощност на трансформатора при това натоварване са разлика между активните мощности на първичната и вторичната намотки:

$$\Delta p_{\Sigma} = \Delta p_M + \Delta p_{CT} = P_1 - P_2 = 35W - 30W = 5W$$

Д. Ефективната стойност на напрежението във вторичната намотка се определя от отношението на изчислената пълна мощност S_2 и тока I_2 :

$$U_2 = \frac{S_2}{I_2} = \frac{50VA}{1A} = 50V$$

Е. Импеданса на консуматора z_T се изчислява като отношение на ефективните стойности на напрежението и тока през него:

$$z_T = \frac{U_2}{I_2} = \frac{50V}{1A} = 50\Omega$$

Съотношението между активното и реактивното съпротивление на товара определят фазовата разлика между тока и напрежението през него. Същата фазова разлика се установява между тока и напрежението във веригата на вторичната намотка на трансформатора или $\cos \varphi_2 = \cos \varphi_T$. Тогава активното и реактивно съпротивления на консуматора ще се определят от зависимостите:

$$R_T = z_T \cos \varphi_T = z_T \cos \varphi_2 = 50\Omega \cdot 0.6 = 30\Omega$$

$$X_T = \sqrt{z_T^2 - R_T^2} = \sqrt{50^2 - 30^2} = 40\Omega$$



Европейски съюз

ПРОЕКТ BG051PO001--4.3.04-0042

„Организационна и технологична инфраструктура за учене през целия живот и развитие на компетенции”

Проектът се осъществява с финансовата подкрепа на Оперативна програма „Развитие на човешките ресурси”, съфинансирана от Европейския социален фонд на Европейския съюз

Инвестира във вашето бъдеще!



стр. 5 от 5