

ЕНЕРГЕТСКИ ТРАНСФОРМАТОРИ (13E013ЕНТ, 19E013ЕНТ)

- август 2023 -

Београд, 28.8.2023.

Трофазни уљни дистрибутивни трансформатор са номиналним подацима: $S_n = 250 \text{ kVA}$, $U_{1n}/U_{20} = 10/0,42 \text{ kV}$, 50 Hz , $P_{0n} = 643 \text{ W}$, $j_0 = 2,46 \%$, $P_{kn} = 3430 \text{ W}$, $u_{kn} = 4,81 \%$ спрега Dz6, $P_{Hn}/P_{Vn} = 4$ има временску константу загревања као хомогено тело $T = 1,7 \text{ h}$. Штајнмицов коефицијент износи 1,8.

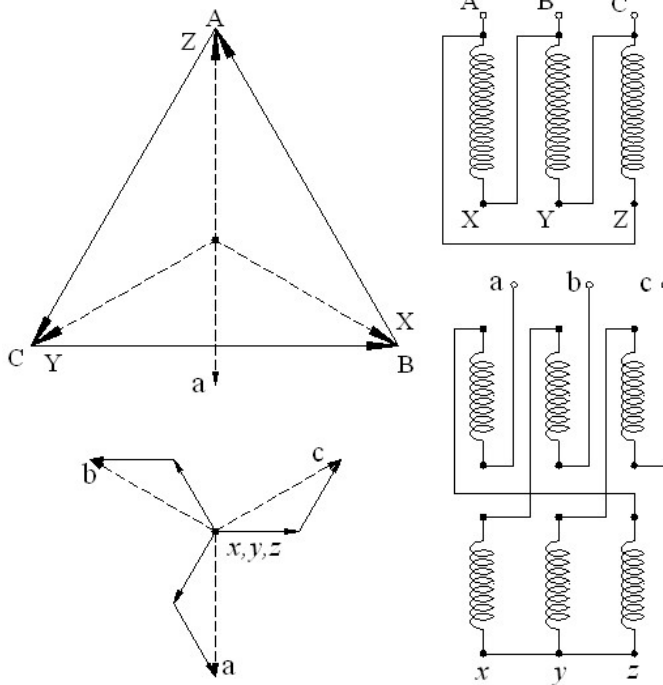
1. Нацртати шеме веза и векторски дијаграм напона представљајући намотаје као калемове и означити све прикључне крајеве намотаја. (Т10)
2. Објаснити због чега при порасту напона на примару долази до повећања активне и реактивне адмитансе у грани магнећења трансформатора. Трансформатор ради у мрежи константне учестаности, при чему је при пројектовању подешено да се радна тачка на колену магнетне криве. (Т12)
3. Колико износи степен искоришћења снаге задатог трансформатора при номиналном оптерећењу и $\cos\varphi = 1$ ако је прикључен на мрежу напона $U = 1,1U_{1n}$ и фреквенције $f = 60\text{Hz}$? (312)
4. Израчунати параметре еквивалентне заменске шеме трансформатора на НН страни и нацртати је са свим бројним вредностима параметара и електричним величинама. (310)
5. Да ли је могућ ползак асинхроног мотора са подацима: $P_n = 100 \text{ kW}$, $U_{mn} = U_{02}$, $\eta_n = 0,93$, $\cos\varphi_n = 0,92$, $I_p/I_n = 5$, $\cos\varphi_p = 0,8$, спрега Δ који је прикључен на секундар задатог трансформатора ако је минимални дозвољени напон на крајевима мотора при поласку $0,9U_{02}$? (312)
6. Израчунати критичну амплитуду струје трополног кратког споја у ВН намотајима задатог трансформатора ако је претходно радио у празном ходу. (310)
7. Због чега постоји вертикални градијент температуре у намотајима, а због чега у радијаторима? Које компоненте падова температуре су садржане у разликама температуре намотаја и суседног уља, а које у разликама температуре уља у хладњаку и температуре спољашњег расхладног флуида на истој висинској позицији? Шта обухвата фактор најтоплије тачке? (Т12)
8. Које су две основне карактеристике по којима се разликују ваздух и уље, а које доводе до значајне промене у конструкцији активног дела сувих трансформатора и трансформатора потопљених у уље? (Т10)
9. Нацртати шему веза Скотовог трансформатора. Потребни напон на пријемницима износи U_{pri} . Оба трансформатора имају N_2 навојака на секундару. Примар трансформатора се прикључује на линијски мрежни напон U_m . Колико износи број навојака на једном и на другом примару трансформатору? (Т12)

Испит траје 180 min. Дозвољено је поседовање само једне свеске за рад и концепт. Прецртати оно што није за преглед.

РЕШЕЊА

28.8.2023.

1.



2. Са порастом напона на примару, расте магнетни флуks кроз језгро, односно вредност магнетне индукције. Због померања радне тачке на магнетној кривој на десно, долази до ефективног смањења магнетске пермеабилности, до смањења магнетног отпора и смањења индуктивности, која је једнака односу квадрата броја навојака на примару и магнетног отпора. Смањења индуктивности значи повећање реактивне компоненте адмитансе у грани магнећења. То доводи и до повећања струје магнећења.

Са порастом магнетне индукције расту и обе компоненте губитака – услед хистерезиса и вихорних струја. С обзиром да активна компонента адмитансе једнака односу губитака и квадрата напона, она ће опасти ако је експонент пораста губитака са порастом магнетне индукције већи од 2 (типична вредност овог коефицијента је између 1,7 и 2,2). Активна вредност струје у грани магнећења свакако расте.

3. $P_{Fen} = P_{Hn} + P_{Vn}$; $P_{Hn} = 4 \cdot P_{Vn} \Rightarrow P_{Vn} = 0,2 \cdot P_{Fen} = 128,6 W$, $P_{Hn} = 0,8 \cdot P_{Fen} = 514,4 W$

$$P_V \sim U^2 \Rightarrow P'_V = P_{Vn} \cdot \left(\frac{U'_1}{U_{1n}} \right)^2 = 128,6 \cdot (1,1)^2 = 155,6 W$$

$$P_H \sim \frac{U^n}{f^{n-1}} \Rightarrow P'_H = P_{Hn} \cdot \left(\frac{f_n}{f'} \right)^{n-1} \cdot \left(\frac{U'_1}{U_{1n}} \right)^n = 514,4 \cdot \left(\frac{50}{60} \right)^{0,8} (1,1)^{1,8} = 1,026 \cdot 514,4 = 527,8 W$$

$$P'_{Fe} = P'_H + P'_V = 683,4 W$$

$$\eta = \frac{\alpha \cdot S_n}{\alpha \cdot S_n + P'_{Fe} + P_{kn}} = \frac{1,1 \cdot 250}{1,1 \cdot 250 + 0,6834 + 3,430} = 0,9853 \Rightarrow 98,53 \%$$

4. ПХ:

$$R_a'' = \frac{U_{02f}^2}{P_{Fen}/3} = \frac{420^2}{643} = 274,3 \Omega \Rightarrow I_a'' = \frac{U_{02f}}{R_a''} = \frac{420}{\sqrt{3} \cdot 274,3} = 0,884 A$$

$$I_{2nf} = \frac{S_n}{\sqrt{3} \cdot U_{02}} = \frac{250 \cdot 10^3}{\sqrt{3} \cdot 420} = 343,7 A \Rightarrow I_0'' = \frac{j_0}{100} \cdot I_{2nf} = \frac{2,46}{100} \cdot 343,7 = 8,455 A$$

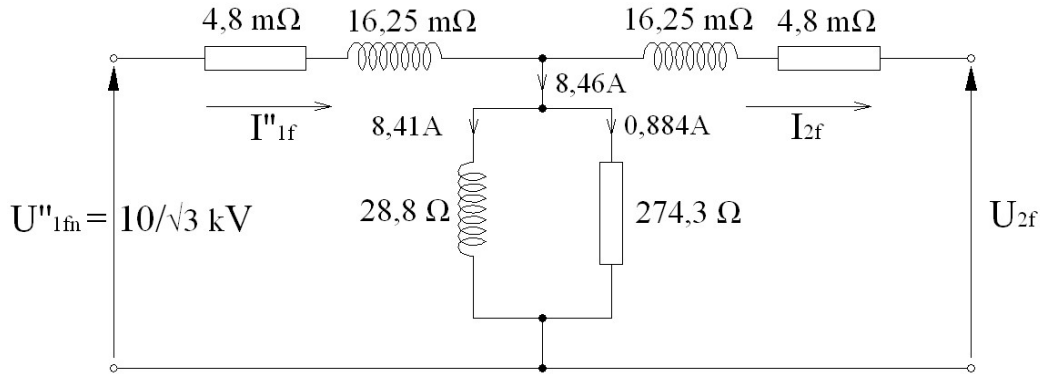
$$I_\mu'' = \sqrt{I_0''^2 - I_a''^2} = 8,41 A \Rightarrow X_\mu'' = \frac{U_{02f}}{I_\mu''} = 28,8 \Omega$$

КС:

$$R_k'' = \frac{P_k}{3I_{2nf}^2} = \frac{3430}{3 \cdot 343,7^2} = 9,7 m\Omega \Rightarrow R_1'' \approx R_2 = \frac{R_k''}{2} = 4,8 m\Omega$$

$$Z_k'' = \frac{u_k}{100} \cdot \frac{U_{02f}}{I_{2nf}} = \frac{4,81}{100} \cdot \frac{420}{\sqrt{3} \cdot 343,7} = 33,9 m\Omega$$

$$X_k'' = \sqrt{Z_k''^2 - R_k''^2} = 32,5 m\Omega \Rightarrow X_{\sigma 1}'' \approx X_{\sigma 2} = \frac{X_k''}{2} = 16,25 m\Omega$$



5. $I_{mn} = \frac{P_n/\eta_n}{\sqrt{3}U_{02} \cos \varphi_n} = \frac{100 \cdot 10^3}{0,93 \cdot \sqrt{3} \cdot 420 \cdot 0,92} = 160,7 A \Rightarrow I_p = 5I_{mn} = 803,5 A$

$$\beta = \frac{803,5}{343,7} = 2,34; \quad u_r = \frac{P_{kn}}{S_n} \cdot 100 = \frac{3430}{250 \cdot 10^3} \cdot 100 = 1,372 \%$$

$$u_x = \sqrt{u_k^2 - u_r^2} = 4,61 \%$$

$$a = \beta(u_r \cos \varphi_p + u_x \sin \varphi_p) = 2,34 \cdot (1,372 \cdot 0,8 + 4,61 \cdot 0,6) = 9,04 \%$$

$$b = \beta(u_x \cos \varphi_p - u_r \sin \varphi_p) = 2,34 \cdot (4,61 \cdot 0,8 - 1,372 \cdot 0,6) = 6,7 \%$$

$$\Delta u = a + \frac{b^2}{200} = 9,04 + \frac{6,7^2}{200} = 9,26 \% < 10 \% \Rightarrow \text{могућ је полазак АМ}$$

6.

$$I_{k \max} = k_m \cdot I_{km} = I_{km} \cdot \left(1 + e^{\frac{\pi \cdot u_r}{u_s}} \right)$$

$$I_{km} = \sqrt{2} \cdot \frac{100}{u_{k\%}} \cdot I_{1nf} = \sqrt{2} \cdot \frac{100}{4,81} \cdot \frac{250}{3 \cdot 10} = 244 A$$

$$k_m = \left(1 + e^{\frac{\pi \cdot u_r}{u_s}} \right) = 1 + e^{\frac{\pi \cdot 1,372}{4,61}} = 1 + 0,392 = 1,392 \Rightarrow I_{k \max} = k_m \cdot I_{km} = 1,392 \cdot 244 = 339,6 A$$

7. Вертикални градијент температуре у намотајима је последица преласка топлоте са намотаја на уље које струји вертикално, одоздо ка горе, кроз намотај.

Вертикални градијент температуре у радијаторима је последица преласка топлоте од уља, које струји вертикално, одозго ка доле, ка спољашњем ваздуху.

Компоненте падова температуре су садржане у разликама температуре намотаја и суседног уља: провођење кроз слој чврсте изолације и струјање са спољње површи изолације на уље.

Компоненте падова температуре су садржане у разликама температуре уља у хладњаку и спољашњег ваздуха на истој висинској позицији: струјање са уља на зид радијатора, провођење кроз зид радијатора, струјање са спољње површи радијатора на ваздух.

Фактор најтоплије тачке обухвата неравномерност губитака и неравномерност хлађења појединих проводника у намотају.

8. Диелектрична чврстоћа (критична вредност електричног поља при којој долази до пробоја). Ова карактеристика утиче на изолациона растојања која треба обезбедити да не би дошло до електричног пробоја и осталих непожељних појава услед присуства напона мрежне учестаности или брзо-променљивих атмосферских или комутационих пренапона.

Термички параметри, пре свега вискозност, који утичу на хлађење делова трансформатора у којима се појављују губици.

Уље има боље карактеристике по оба наведена параметра.

9. Поглавље 10, 10.1. ПРЕТВАРАЧИ БРОЈА ФАЗА, 1) Претварање трофазног у двофазни систем, закључно са изразом (10.6).