

ЕНЕРГЕТСКИ ТРАНСФОРМАТОРИ (13E013ЕНТ)

- октобар 2021 -

Београд, 30.9.2021.

Трофазни енергетски уљни трансформатор са номиналним подацима: $S_n = 5 \text{ MVA}$, $U_1 / U_{02} = 35 / 6,3 \text{ kV}$, 50 Hz , спрега $Yd5$, $u_k = 5 \%$, $j_0 = 1 \%$, $P_{kn} = 28 \text{ kW}$, $P_{0n} = 6,5 \text{ kW}$, има висину оба намотаја $h = 650 \text{ mm}$, корен карактеристичне једначине за израчунавање расподеле пренапона $\alpha = 5$.

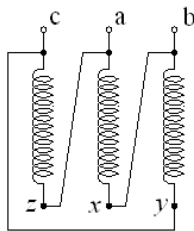
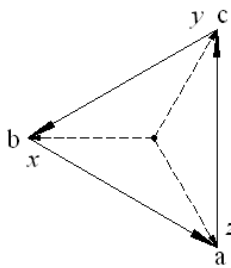
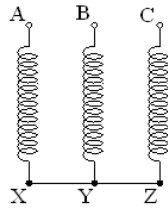
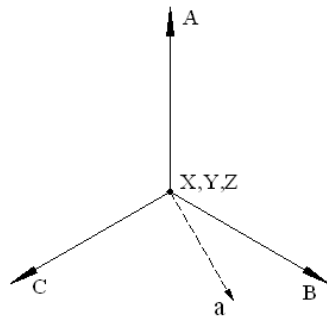
1. Нацртати шеме веза и векторски дијаграм напона представљајући намотаје као калемове. Означити све крајеве намотаја (почетке и крајеве). (Т8)
2. Проценити укупну површину попречног пресека магнетског кола ако је максимална вредност индукције $B_m = 1,7 \text{ T}$, а коефицијент испуне гвожђем $0,95$. Какав је облик пресека магнетског кола? (36)
3. а) Мерењем отпорности намотаја трансформатора на $20 \text{ }^\circ\text{C}$ измерена је 30 пута већа отпорност између примарних прикључака него између секундарних. Израчунати фазне отпорности на референтној температури ако је Филдов сачинилац исти за оба намотаја и износи $k_F = 1,015$. (38) б) Колико износи Филдов сачинилац ако се ширина правоугаоних проводника намотаја примара и секундара смањи за 10% ? (36)
4. Израчунати параметре еквивалентне заменске шеме трансформатора са ВН стране. Нацртати шему са унетим бројним вредностима параметара и електричним величинама. Напомена: Могу се користити вредности отпорности добијене у задатку 3а). (310)
5. Написати једну једначину по првом и две једначине по другом Кирхофовом закону, чијим се решавањем може одредити напон на секундару трансформатора без да се врши било какво занемарење у Т заменској шеми трансформатора, полазећи од података о трансформатору, познатом напону на примару и познатој комплексној снази на секундару. (Т6) Нацртати фазорски дијаграм напона за случај чисто капацитивне струје на секундару, и то за случај да се трансформатор моделује само реактансом кратког споја. (Т6)
6. Нацртати дијаграм промене температуре по затвореној контури струјања уља и упрошћени дијаграм промене температуре намотаја за трансформатор у ONAN режиму. Навести како се померају тачке на дијаграму у случају исте снаге губитака и промене режима хлађења у ODAF. (Т10)
7. Колико износи критична вредност струје примара при трополном кратком споју секундара задатог трансформатора? (310)
8. Уколико је из прорачуна магнетног поља позната вредност радијалног магнетног поља, као и подаци о пресеку проводника и одстојницима за формирање радијалних канала за хлађење, написати критеријум провере напрезања на савијање проводника услед дејства аксијалних сила. (Т10)
9. Ако је задати трансформатор превезан тако да формира аутотрансформатор спреге Yy , израчунати максималну трајну снагу коју може да пренесе у том случају као и процентуалну вредност максималног пада напона при номиналном оптерећењу. Користити упрошћену формулу за пад напона. (310)
10. Колика је максимална вредност напона који се јавља у намотају примара задатог трансформатора при наиласку пренапонског таласа амплитуде 2 MV ? Која су критична места у погледу изолације и зашто? (310)

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

РЕШЕЊА

30.9.2021.

1.



2.

$$S_{Fe} = \frac{U_{1f}}{4,44 N_1 f B_m k_{Fe}} = \frac{35000/\sqrt{3}}{4,44 \cdot 700 \cdot 50 \cdot 1,7 \cdot 0,95} \approx 805 \text{ cm}^2$$

- вишеструки крстаст пресек

3. а) Отпорности између прикључних крајева намотаја на 20°C су у односу $R_1^{20} = 30R_2^{20}$. Отпорности при једносмерној струји али на 75°C могу се представити следећим формулама:

$$R_{1f,DC}^{75} = \frac{R_1^{20}}{2} \cdot \frac{310}{255} = 15R_2^{20} \cdot 1,22$$

$$R_{2f,DC}^{75} = \frac{3 \cdot R_2^{20}}{2} \cdot \frac{310}{255} = 1,5R_2^{20} \cdot 1,22$$

Губици на 75°C при наизменичном напајању могу се представити преко отпорности које су дате горњим једначинама:

$$P_{kn}^{75} = 3k_F \cdot (15R_2^{20} \cdot 1,22 \cdot I_{1nf}^2 + 1,5R_2^{20} \cdot 1,22 \cdot I_{2nf}^2)$$

Одавде је:

$$R_2^{20} = \frac{28000}{3 \cdot 1,015 \cdot (15 \cdot 1,22 \cdot 82,5^2 + 1,5 \cdot 1,22 \cdot 264,6^2)} = 0,03652 \Omega$$

Па су:

$$R_{1f,DC}^{75} = 15R_2^{20} \cdot 1,22 = 0,667 \Omega$$

$$R_{2f,DC}^{75} = 1,5R_2^{20} \cdot 1,22 = 0,0667 \Omega$$

Тражене отпорности намотаја на 75°C при наизменичном напајању су:

$$R_{1f,AC}^{75} = 1,015 \cdot R_{1f,DC}^{20} = 0,676 \Omega$$

$$R_{2f,AC}^{75} = 1,015 \cdot R_{2f,DC}^{20} = 0,0676 \Omega$$

б)

$$\frac{\Delta k'_F}{\Delta k_F} = \left(\frac{q'}{q}\right)^4 = 0,9^4 = 0,656 \Rightarrow k'_F = 1 + \Delta k'_F = 1 + 0,015 \cdot 0,656 = 1,00984$$

4. ПХ:

$$I_{1nf} = \frac{S_n}{\sqrt{3}U_{1n}} = \frac{5000 \cdot 10^3}{\sqrt{3} \cdot 35 \cdot 10^3} = 82,5 \text{ A}$$

$$R_a = \frac{U_{1nf}^2}{P_{0n}/3} = \frac{35^2 \cdot 10^6}{6500} = 188,5 \text{ k}\Omega \Rightarrow I_{a1} = \frac{U_{1nf}}{R_a} = \frac{35 \cdot 10^3}{\sqrt{3} \cdot 188,5 \cdot 10^3} = 0,107 \text{ A}$$

$$I_{01} = \frac{j_0}{100} \cdot I_{1nf} = 0,825 \text{ A} \Rightarrow I_{\mu 1} = \sqrt{I_{01}^2 - I_{a1}^2} = 0,818 \text{ A}$$

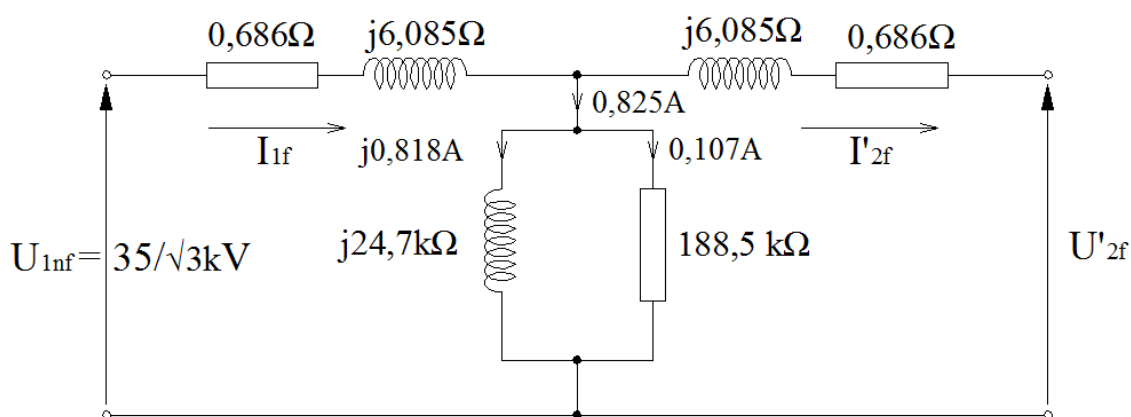
$$X_{\mu} = \frac{U_{1nf}}{I_{\mu 1}} = \frac{35 \cdot 10^3}{\sqrt{3} \cdot 0,818} = 24,7 \text{ k}\Omega$$

КС:

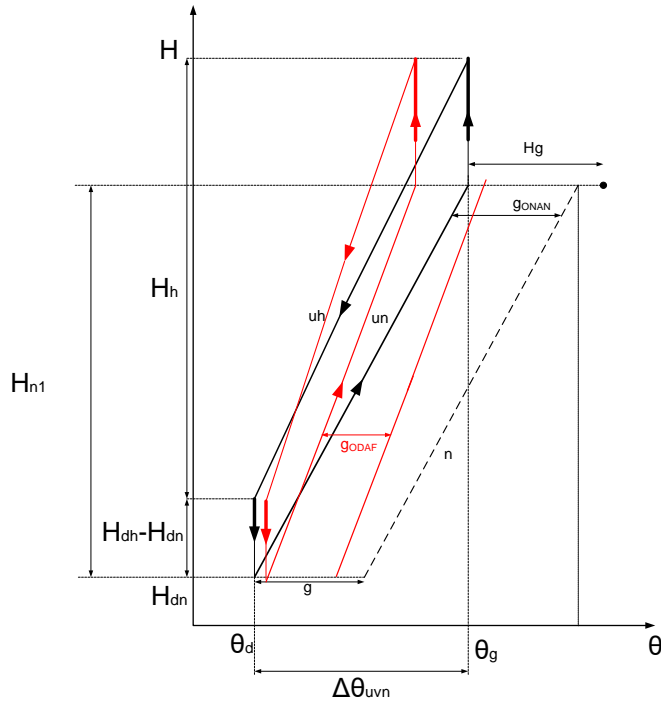
$$R_k = \frac{P_{kn}}{3I_{1nf}^2} = \frac{28000}{3 \cdot 82,5^2} = 1,371 \Omega \Rightarrow R_1'' = R_2 = \frac{R_k}{2} = \frac{1,371}{2} = 0,686 \Omega$$

$$Z_k = \frac{u_k}{100} \frac{U_{1nf}}{I_{1nf}} = \frac{5}{100} \frac{35 \cdot 10^3}{\sqrt{3} \cdot 82,5} = 12,247 \Omega \Rightarrow X_k = \sqrt{Z_k^2 - R_k^2} \approx 12,17 \Omega$$

$$\Rightarrow X_{\sigma 1}'' \approx X_{\sigma 2} = \frac{X_k}{2} = 6,085 \Omega$$



5. Предавања, Поглавље 4Б, страна 12, при чему је $\underline{Z}' = \frac{U_2'^2}{S_2}$.



6.

$$g_{DAF} < g_{ONAN}, \Delta\theta_{ODAF} < \Delta\theta_{ONAN}, \theta_{gODAF} < \theta_{gONAN}$$

7. Компоненте напона кратког споја су:

$$u_r = \frac{P_{kn}}{S_n} \cdot 100 = \frac{28}{5000} \cdot 100 = 0,56 \% \Rightarrow u_x = 4,97 \%$$

Критична струја трополног кратког споја трансформатора је:

$$I_{kr} = \sqrt{2} \frac{100 \cdot I_{1nf}}{u_k} \left(1 + e^{-\frac{u_r \pi}{u_x}} \right) = \sqrt{2} \frac{100 \cdot 82,5}{5,5} \left(1 + e^{-\frac{0,56 \cdot \pi}{4,97}} \right) = 3971 \text{ A}$$

8. Предавања, Поглавље 6, израз (6.30), страна 18 и први пасус на страни 19

9. Повољнија спрега аутотрансформатора је она са преносним односом који је ближи јединици јер се тада преноси већа привидна снага:

$$U_{1a} = \sqrt{3} \left(\frac{35}{\sqrt{3}} + 6,3 \right) = 45,9 \text{ kVA}$$

$$U_{2a} = \sqrt{3} \cdot \frac{35}{\sqrt{3}} = 35 \text{ kVA}$$

$$n_a = \frac{U_{1a}}{U_{2a}} = 1,31 \Rightarrow S_a = \frac{n_a}{n_a - 1} S_n = 21,12 \text{ MVA}$$

$$\Delta u_m = u_r \cdot \frac{u_r}{u_k} + u_x \cdot \frac{u_x}{u_k} = u_{ka} = u_k \cdot \frac{S_n}{S_a} = 5,5 \cdot \frac{5}{21,12} = 1,183 \%$$

10. Највећи напон се јавља на крају неуземљеног намотаја у току прелазног режима када постоје осцилације:

$$U_m = 2U - u(x=0) = 2U - \frac{U \operatorname{ch}(\alpha \cdot 0)}{\operatorname{ch}(\alpha h)} = 4 - 2 \cdot \frac{1}{\operatorname{ch}(5 \cdot 0,65)} = 3,845 \text{ MVA}$$

У овој тачки је угрожена изолација намотаја према маси јер се у њој јавља највећи напон према маси у току прелазног процеса. Друго место је почетак намотаја где се јавља највећи градијент напона па је угрожена међузавојна изолација.