

ЕНЕРГЕТСКИ ТРАНСФОРМАТОРИ (13E013ЕНТ)

- октобар 2021 -

Београд, 30.9.2021.

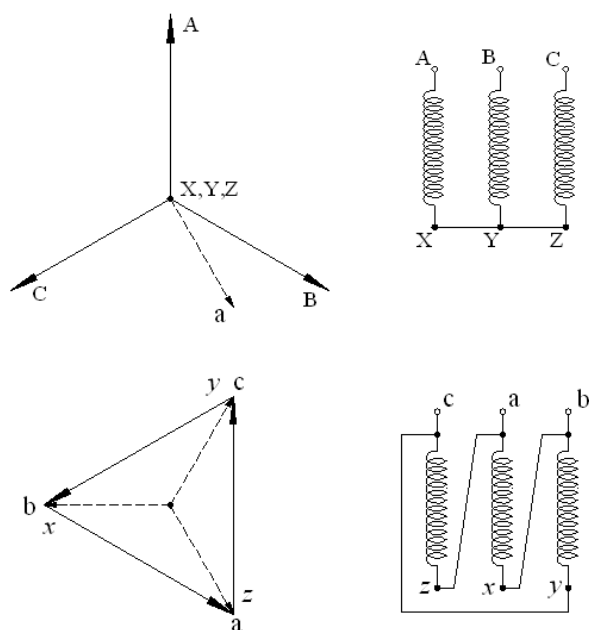
Трофазни енергетски уљни трансформатор са номиналним подацима: $S_n = 5 \text{ MVA}$, $U_1 / U_{02} = 35 / 6,3 \text{ kV}$, 50 Hz , спрега $Yd5$, $u_k = 5 \%$, $j_0 = 1 \%$, $P_{kn} = 28 \text{ kW}$, $P_{0n} = 6,5 \text{ kW}$, има висину оба намотаја $h = 650 \text{ mm}$, корен карактеристичне једначине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

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:

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

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

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

4. ПХ:

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

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

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

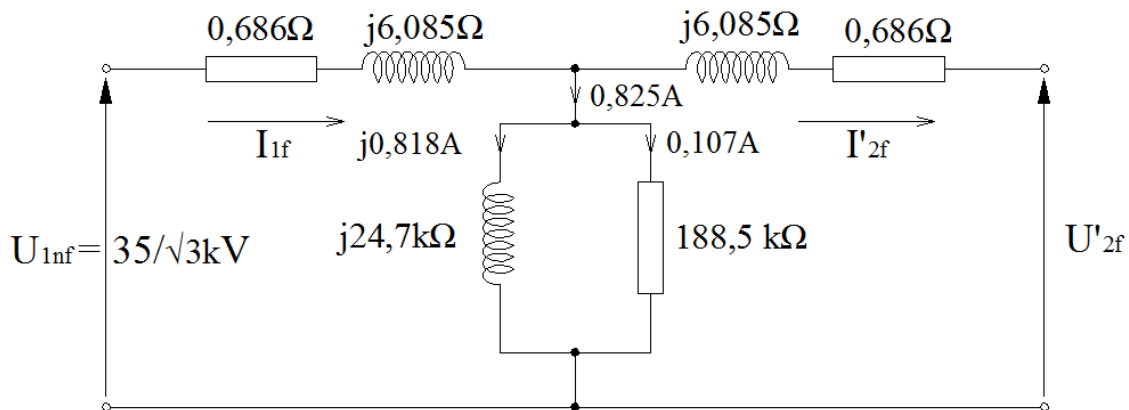
$$X_{\mu} = \frac{U_{1nf}}{I_{\mu 1}} = \frac{35 \cdot 10^3}{\sqrt{3} \cdot 0,818} = 24,7 \text{ k}\Omega$$

КС:

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

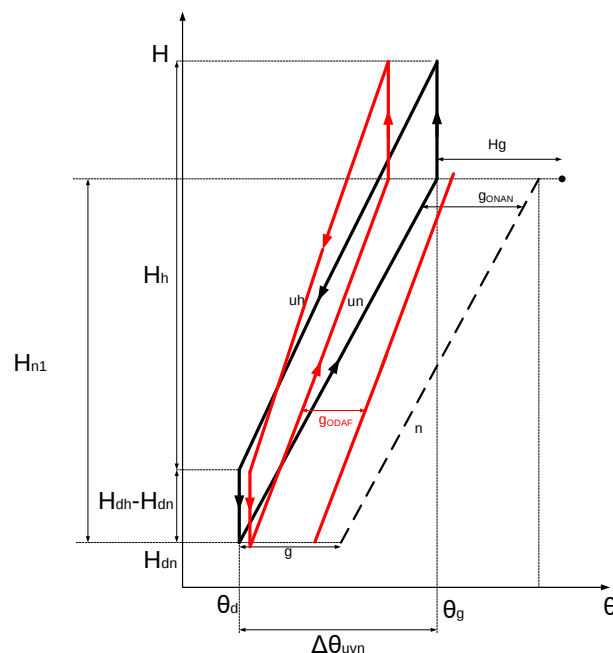
$$Z_k = \frac{u_k}{100} \frac{U_{1nf}}{I_{1nf}} = \frac{5}{100} \frac{35 \cdot 10^3}{\sqrt{3} \cdot 82,5} = 12,247 \text{ }\Omega \Rightarrow X_k = \sqrt{Z_k^2 - R_k^2} \approx 12,17 \text{ }\Omega$$

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



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:

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

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.