

ЕНЕРГЕТСКИ ТРАНСФОРМАТОРИ (13E013ЕНТ)

- август 2022 -

Београд, 26.08.2022.

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 следеће конструкцијске податке: број навојака примара $N_1 = 700$, висина оба намотаја $h = 650 \text{ mm}$, ширине намотаја: примара и секундара $a = 40 \text{ mm}$ и $b = 46 \text{ mm}$ респективно, уз међусобни размак намотаја $\delta = 20 \text{ mm}$. Корен карактеристичне једначине за израчунавање расподеле пренапона је $\alpha = 5$.

1. Нацртати шеме веза и векторски дијаграм напона представљајући намотаје као калемове и означити све прикључне крајеве намотаја. (Т8)
2. Мерењем отпорности намотаја трансформатора на 20°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 $k_F = 1,015$. (310)
3. Израчунати параметре еквивалентне заменске шеме трансформатора на ВН страни и нацртати је са свим бројним вредностима параметара и електричним величинама. (310)
4. Које су значајне компоненте губитака које постоје при огледу кратког споја? Због чега су губици у магнетном колу мали, па се последично могу занемарити? Који је практични разлог да се губици у огледу кратког споја мере на хладном трансформатору (при температури амбијента), а затим прерачунавају на радну температуру при номиналном оптерећењу)? (Т12)
5. Нацртати заменски шему и написати једначине чијим се решавањем може одредити расподела оптерећења између два паралелно везана трансформатора истих спрега, али различитих преносних односа и импеданси. Сматрати да су познати: а) преносни односи оба трансформатора, б) редне импедансе примара и секундара у заменској шеми трансформатора, в) импеданса оптерећења. Занемарити гране магнетнења. (Т10)
6. Полазећи од дијаграма промене температуре по затвореној контури струјања уља, написати израз за одређивање пораста температуре вруће тачке изолације намотаја који садржи три сабирка и навести значење све четири компоненте које у њему фигуришу. Шта се обухвата фактором најтоплије тачке? (Т10)
7. Колико износи критична вредност струје примара при трополном кратком споју на секундару задатог трансформатора у најнеповољнијем тренутку? (310)
8. Колики је однос укупне радијалне и аксијалне силе при трополном кратком споју? (310)
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)

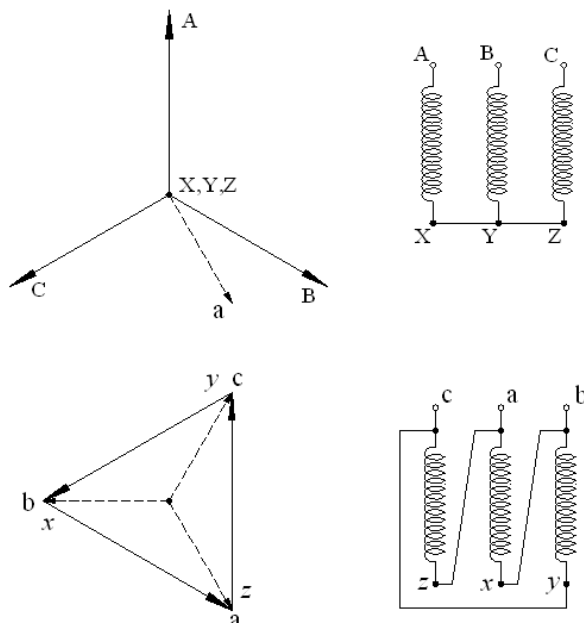
Испит траје 180 min. Дозвољено је поседовање само једне свеске за рад и концепт. Прецртати оно што није за преглед.

др Зоран Радаковић
др Зоран Лазаревић

РЕШЕЊА

26.08.2022.

1.



2. 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:

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

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

3. ПХ:

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

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

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

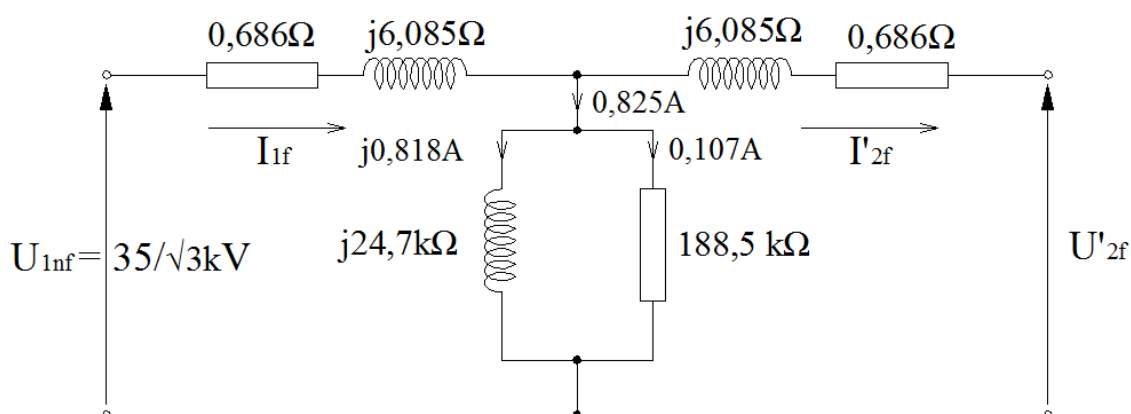
$$X_{\mu} = \frac{U_{1nf}}{I_{\mu 1}} = \frac{35 \cdot 10^3}{\sqrt{3} \cdot 0,818} = 24,7 \text{ k}\Omega$$

КС:

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

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

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



4. Губици до којих доводи протицање струје кроз намотаје трансформатора у кратком споју се јављају у намотајима (услед протицања главне струје и циркулационе струје у намотају) и губитака у конструкционим деловима трансформатора и суду, који настају као поседица расутог флукса.

Губици у магнетном колу су мали јер је мали флукс (а тиме и магнетна индукција) у магнетном колу.

Потребно је дуго време (10-так сати) и значајна електрична енергија да се трансформатор загреје до радне температуре (поступак који се користи при извођењу типског огледа загревања).

5. Предавања, Поглавље 7, страна 17, слика 7.13, при чему је $\underline{m}_I = m_I$ и $\underline{m}_{II} = m_{II}$
6. Предавања, Поглавље 5, страна 16, слика 5.Б.

$$\theta_{vt} = \theta_{ug} + \Delta\theta_{uvn} + H \Delta\theta_{Nam-ulje}$$

- ϑ_{vt} – пораст температура вруће тачке
- θ_{ud} - пораст температуре доњег уља
- $\Delta\theta_{uvn}$ – пораст температурте уља са повећањем висине намотаја (радијатора)

- $\Delta\theta_{Nam-ulje}$ – разлика средње температуре намотаја и средње температуре уља
- H – фактор најтоплије тачке (њиме се обухвата неравномерност губитака и неравномерност хлађења појединих проводника у намотају)

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. Однос укупне радијалне и аксијалне силе на намотаје трансформатора може се проценити из следеће једначине:

$$\frac{F_r}{|F_a|} \approx \frac{h}{\delta'} = \frac{h}{\frac{a}{3} + \delta + \frac{b}{3}} = \frac{650}{\frac{40}{3} + 20 + \frac{46}{3}} = 13,4$$

9. Максимална привидна снага се повећава са приближавањем преносног односа јединици, из чега следи да је максимална трајна снага аутотрансформатора S_a који се може остварити превезивањем :

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

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

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

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

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.