

ЕНЕРГЕТСКИ ТРАНСФОРМАТОРИ (13Е013ЕНТ)

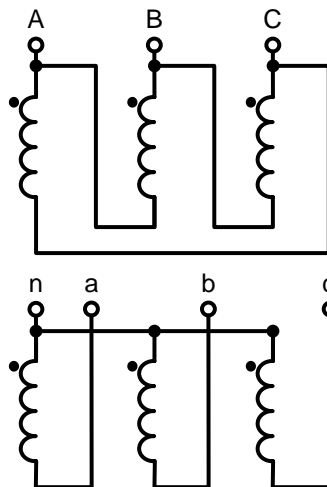
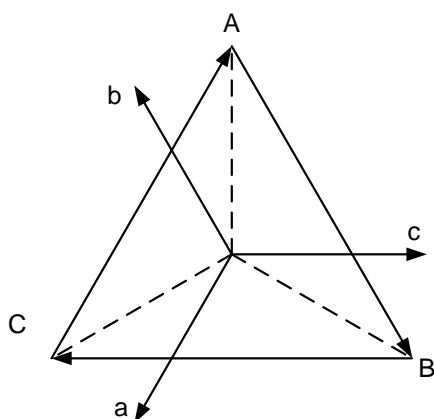
Октобар 2019.

Трофазни уљни енергетски трансформатор са номиналним подацима: $S_n = 400 \text{ kVA}$, $U_{1n}/U_{02} = 20/0.4 \text{ kV}$, 50 Hz , спрега Dyn7. Напон кратког споја датог трансформатора је $u_k = 4\%$. Губици у огледу кратког споја при номиналној струји и радној температури од 75°C износе $P_{kn} = 4500 \text{ W}$. У огледу празног хода при номиналном напону измерено је: $P_0 = 930 \text{ W}$, $I_0 = 23 \text{ A}$. Штајнмицов коефицијент једнак је 2.

- а) Нацртати шему веза и векторски дијаграм напона задатог трансформатора представљајући намотаје као калемове.(6)
б) Одредити вредности губитака услед хистерезиса и вихорних струја при номиналном напону и учестаности, ако је при номиналној вредности напона и учестаности од 60 Hz у празном ходу измерена вредност губитака од 855 W(6)
- Израчунати параметре еквивалентног кола на НН страни и скицирати шему са уписаним бројним вредностима свих параметара и електричних величина.(9)
- Дати трансформатор ради при номиналном напону и 50% номиналног оптерећења током веома дугог времена. Колико дуго се може дозволити преоптерећење трансформатора од 120% до кога долази које наступа након наведеног устаљеног топлотног режима тако да не дође до прекорачења 90% вредности максимално дозвољеног пораста температуре горњег уља (θ_{gun})? Резултат изразити у функцији познате временске константе загревања трансформатора τ . На загревање уља применити линеарни модел са једном временском константом. Занемарити промену отпорности намотаја са температуром.(11)
- Написати основни прорачунски израз за релативно старење у зависности од температуре најтоплије тачке. Који фактори, поред температуре, утичу на интензитет старења изолације? Која величина, која се добија анализом узорка папира, карактерише његово стање, односно степен остарелости папира?(10)
- Написати изразе, укључујући и једну једначину по првом и две једначине по другом Кирхофовом закону, чијим се решавањем може одредити пад напона на трансформатору без да се врши било какво занемарење у Т заменској шеми трансформатора. Импеданса оптерећења секундарара сведена на примар износи $Z = R + jX$, капацитет кондензатора прикључених на сабирнице секундарара C , а учестаност f . (10)
- Нацртати и објаснити заменску шему која описује појаве у комплетном фреквентном опсегу чела и зачеља пренапонског таласа. Од чега зависе вредности елемената шеме?(12)
- Колики је однос дужине јарма код потпуно симетричног магнетног кола трофазног трансформатора и код његове класичне изведбе, у којој се јарам и сви стубови налазе у истој равни? Одговор образложити математички.(12)
- Дати трансформатор се користи за напајање једнофазног резистивног потрошача отпорности 2Ω који је прикључен између фаза b и c . Одредити фазне и линијске струје примара и секундарара у овом режиму.(12)
- Паралелно задатом трансформатору прикључује се трансформатор спреге Ду5, исте номиналне снаге, напона кратког споја 5% и преносног односа $20/0.42 \text{ kV}$. Приказати везе примара и секундарара ова два трансформатора које обезбеђују минималну вредност струје изједначења. Одредити ефективне вредности фазних струја секундарара ових трансформатора у режиму празног хода. Усвојити да је за оба трансформатора $x_k = u_k$ (занемарити отпорности намотаја).(12)

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

1. а)



б) Губици у празном ходу при номиналном напону и учестаности и при учестаности од 60 Hz могу се изразити у функцији губитака услед хистерезиса и вихорних струја као:

$$P_0^{50} = P_v^{50} + P_h^{50}$$

$$P_0^{60} = P_v^{60} + P_h^{60} = P_v^{50} + P_h^{50} \cdot \frac{50}{60}$$

Приметити да се губици услед вихорних струја нису променили, јер је ефективна вредност напона константна, док се губици услед хистерезиса смањују сразмерно повећању учестаности. Из претходне две једначине могу се одредити губици услед вихорних струја и хистерезиса при номиналном напону и учестаности и они износе:

$$P_v^{50} = 480 \text{ W}$$

$$P_h^{50} = 450 \text{ W}$$

2. ПХ (изведен са нисконапонске стране):

$$R_a'' = \frac{U_{2nf}^2}{P_0/3} = \frac{(400/\sqrt{3})^2}{310} = 172 \Omega \Rightarrow I_{af}'' = \frac{U_{2nf}}{R_a''} = 1.342 \text{ A}$$

$$I_{\mu f}'' = \sqrt{I_{0f}''^2 - I_{af}''^2} = \sqrt{23^2 - 1.342^2} = 22.96 \text{ A}$$

$$X_{\mu}'' = \frac{U_{2nf}}{I_{\mu f}''} = \frac{400/\sqrt{3}}{22.96} = 10.06 \Omega$$

КС:

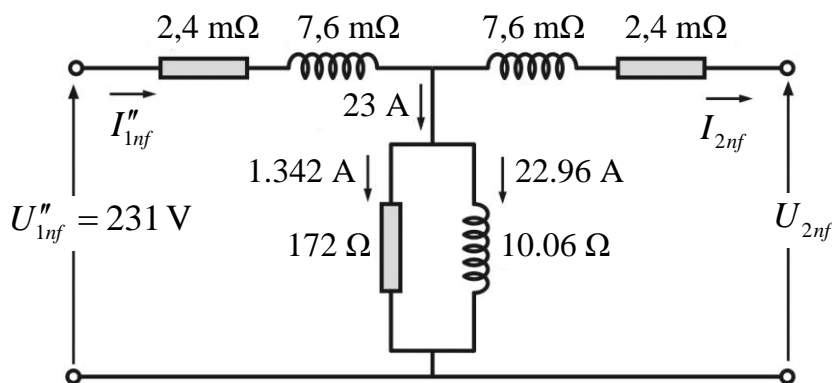
$$R_k'' = \frac{P_{kn}}{3I_{2nf}^2} = \frac{4500}{3 \cdot 577.4^2} = 4.50 \text{ m}\Omega \Rightarrow R_1'' \approx R_2'' \approx \frac{R_k''}{2} = 2.25 \text{ m}\Omega$$

$$U_{kf} = 0.04 \cdot 400 / \sqrt{3} = 9.24 \text{ V (фазна вредност напона кратког споја са ВН стране)}$$

$$Z_k'' = \frac{U_{kf}}{I_{2nf}} = 16 \text{ m}\Omega$$

$$X_k'' = \sqrt{Z_k''^2 - R_k''^2} = 15.4 \text{ m}\Omega \Rightarrow X_{\sigma 1}'' \approx X_{\sigma 2}'' \approx \frac{X_k''}{2} = 7.67 \text{ m}\Omega$$

Заменска шема са параметрима и величинама сведеним на НН страну:



3. Губици и порасте температуре при оптерећењима од 50% и 120%:

$$\beta = 0.5 \Rightarrow P_{\gamma 50} = P_0 + \beta^2 P_{kn} = 2055 \text{ W} \Rightarrow \theta_{gu,50} = \frac{P_0 + \beta^2 P_{kn}}{P_0 + P_{kn}} \theta_{gun} = 0.3785 \theta_{gun}$$

$$\beta = 1.2 \Rightarrow P_{\gamma 120} = P_0 + \beta^2 P_{kn} = 7410 \text{ W} \Rightarrow \theta_{gu,120} = \frac{P_0 + \beta^2 P_{kn}}{P_0 + P_{kn}} \theta_{gun} = 1.3646 \theta_{gun}$$

Промена температуре након преоптерећења:

$$\theta_{gu}(t) = \theta_{gu,50} \cdot e^{-t/\tau} + \theta_{gu,120} (1 - e^{-t/\tau})$$

У тренутку $t = t_{\max}$:

$$\theta_{gu}(t_{\max}) = 0.9 \theta_{gun} \Rightarrow t_{\max} = 0.7526 \cdot \tau$$

4. Испитни рок Јул 2019., задатак 4.

5. Предавања, Поглавље 4, страна 22, при чему је $\underline{Z}' = \frac{\underline{Z} \frac{1}{(j \omega C)}}{\underline{Z} + \frac{1}{(j \omega C)}}$.

6. Предавања, Поглавље 6, страна 25.

7. Предавања, Поглавље 2, страна 4, Текст пасуса испред слике 2.5 и слика 2.5.

8. На основу једначина физичке очигледности на крајевима секундера:

$$\underline{I}_a = 0$$

$$\underline{I}_b = -\underline{I}_c$$

$$\underline{U}_b = \underline{U}_c + R_p \underline{I}_b$$

има се да је:

$$\underline{I}_d'' = \underline{I}_i''$$

$$\underline{I}_0'' = 0$$

$$\underline{U}_d'' - \underline{U}_i'' = R_p \underline{I}_d''$$

Датом сету једначина треба додати напонске једначине за директни и инверзни компонентни систем (компоненте нултог редоследа нису присутне):

$$\underline{U}_{2nf} - \underline{Z}_d'' \underline{I}_d'' = \underline{U}_d''$$

$$0 - \underline{Z}_i'' \underline{I}_i'' = \underline{U}_i''$$

добијају се изрази за симетричне компоненте струје фазе a а на основу њих и фазна струја:

$$U_{2nf} - (\underline{Z}_d'' + \underline{Z}_i'') \underline{I}_d'' = \underline{U}_d'' - \underline{U}_i'' = R_p \underline{I}_d'' \Rightarrow$$

$$\underline{I}_d'' = -\underline{I}_i'' = \frac{U_{2nf}}{\underline{Z}_d'' + \underline{Z}_i'' + R_p} = \frac{U_{2nf}}{2\underline{Z}_k'' + R_p} \Rightarrow \underline{I}_b = -\underline{I}_c = (a^2 - a) \frac{U_{2nf}}{2\underline{Z}_k'' + R_p} \approx -j199.5 \text{ A} \quad (R_p \gg |\underline{Z}_k''|)$$

Струје кроз намотаје примара тада имају вредности (све симетричне компоненте се преносе у фазне намотаје примара):

$$\underline{I}_A = -\frac{\underline{I}_a}{n} = 0 \text{ A}$$

$$\underline{I}_B = -\underline{I}_C = -\frac{\underline{I}_b}{n} = j2.304 \text{ A}$$

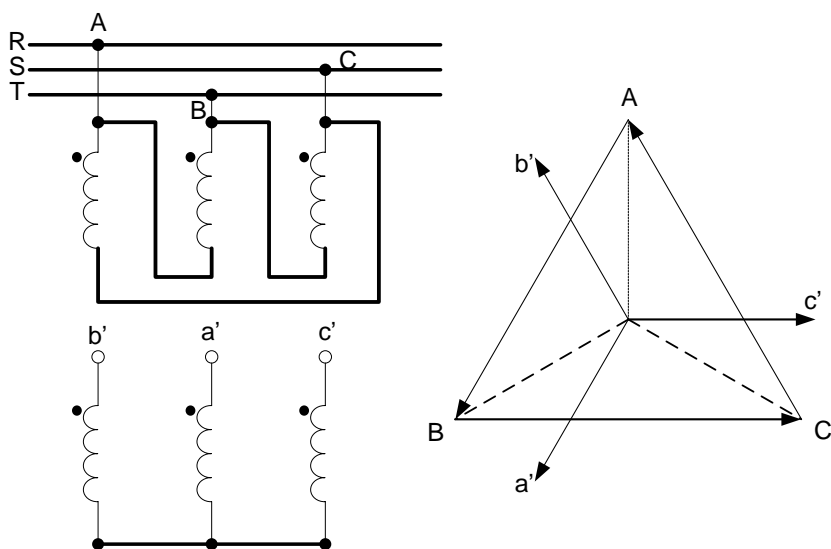
Линијске струје примара (погледати шему веза намотаја, зад. 1):

$$\underline{I}_{A\text{lin}} = -\underline{I}_B = -j2.304 \text{ A}$$

$$\underline{I}_{B\text{lin}} = 2\underline{I}_B = j4.607 \text{ A}$$

$$\underline{I}_{C\text{lin}} = -\underline{I}_B = -j2.304 \text{ A}$$

9. Други трансформатор је потребно повезати и означити крајеве секундарна на следећи начин:



Сада је могуће ова два трансформатора повезати у паралелни рад, и то повезивањем крајева на следећи начин:

A_I	B_I	C_I	a_I	b_I	c_I
A_{II}	C_{II}	B_{II}	a_{II}	b_{II}	c_{II}

У овом случају нема фазног помераја између напона секундарна, тако да ће струја изједначења при паралелном раду имати минималну могућу вредност. С обзиром на то да се напони кратког споја и преносни односи разликују, струју празног хода при паралелном раду могуће је израчунати на основу еквивалентног кола датог на слици:

$$I_I = -I_{II} = \frac{E_I - E_{II}}{\underline{Z}_I + \underline{Z}_{II}} = \frac{\frac{U_{02I}}{\sqrt{3}} - \frac{U_{02II}}{\sqrt{3}}}{jX_I + jX_{II}} = \frac{20 / \sqrt{3}}{j \left(\frac{u_{kI}}{100} \cdot \frac{U_{02I}^2}{S_{nI}} + \frac{u_{kII}}{100} \cdot \frac{U_{02II}^2}{S_{nII}} \right)} = -j303.5 \text{ A}$$

