

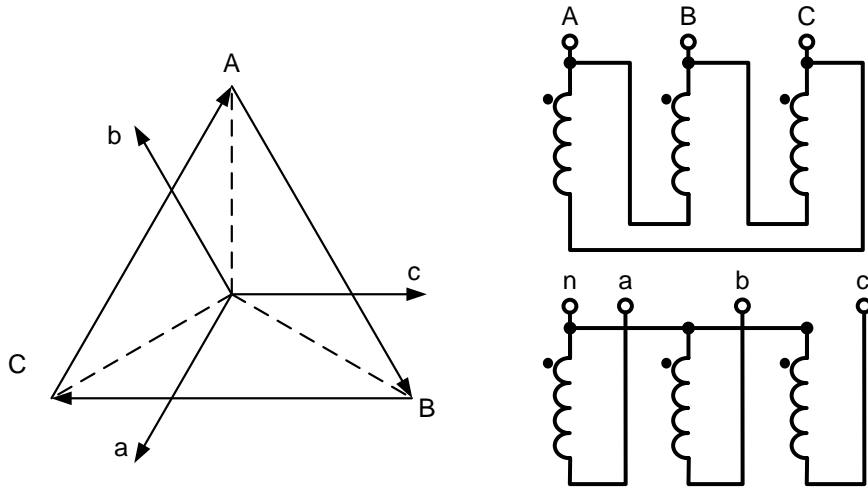
ЕНЕРГЕТСКИ ТРАНСФОРМАТОРИ (13Е013ЕНТ)
Јул 1 2017.

Трофазни уљни енергетски трансформатор са номиналним подацима: $S_n = 400 \text{ kVA}$, $20/0.4 \text{ kV}$, 50 Hz , спрега Dyn7 . У огледу кратког споја при номиналној струји измерено је $U_k = 800 \text{ V}$. У огледу празног хода при номиналном напону измерено је: $P_0 = 930 \text{ W}$, $I_0 = 23 \text{ A}$. Максимални могући степен искоришћења снаге има се при релативном оптерећењу $\beta_{\max} = 0.44$.

1. Нацртати шему веза и векторски дијаграм напона датог трансформатора представљајући намотаје као калемове. (8)
2. Израчунати параметре заменске шеме са НН стране и скицирати шему са уписаним бројним вредностима свих електричних величина. (12)
3. Колики би били губици празног хода овог трансформатора при напајању напоном номиналне ефективне вредности и учестаности ако би језгро било истих димензија и начињено од истог материјала, али са лимовима чија је дебљина 1.5 пута мања у односу на дати трансформатор? Губици датог трансформатора у празном ходу при напајању напоном номиналне ефективне вредности и учестаности 60 Hz износе 865 W . Штајнмицов коефицијент је 1.7. (8)
4. Трансформатор се користи за напајање мотора следећих карактеристика: 200 kW , $\cos\varphi = 0.86$, $\eta = 0.94$. Израчунати потребну реактивну снагу трофазне батерије кондензатора коју треба прикључити на крајеве секундарна како би напон на крајевима секундарна имао номиналну вредност при номиналном напону напајања примара. Колики је степен искоришћења снаге трансформатора пре, а колики после компензације? Занемарити попречну компоненту пада напона и утицај реактивне снаге магнетног трансформатора на пад напона на импеданси примара (разматрати "Г" заменску шему трансформатора). (12)
5. Дати скицу (са приказаним намотајима по стубу, стубовима и деловима јарма) за трансформаторе са облицима магнетног кола "1/2" и "3/2". Која је природа магнетног флукса у помоћним стубовима (/2) у два наведена случаја и у којим ситуацијама се он јавља? (10)
6. Написати дефинициони израз за одређивање реактансе расипања из вредности енергије магнетског поља у запремини коју обухвата намотај примара, простор између намотаја примара и секундарна и намотај секундарна. Написати израз за енергију магнетског поља под претпоставком да је у свакој тачки запремине позната вредност магнетског поља $H(x, y, z)$. (10)
7. Израчунати струје кроз линијске проводнике на страни примара трансформатора у случају да дође до кратког споја између почетка и краја једног од намотаја на секундару (1пкс). (10)
8. Паралелно задатом трансформатору треба прикључити нови трансформатор истог напона, номиналне снаге 600 kVA , исте спреге и преносног односа и напона кратког споја $u_k = 5\%$, при чему је фактор снаге при кратком споју исти као и код задатог трансформатора. Како ће ови трансформатори поделити укупно оптерећење од 950 kVA ? Да ли је трајни рад при овом оптерећењу могућ? Уколико није, колико износи максимално дозвољено оптерећење трансформатора, и колика су тада оптерећења појединачних трансформатора? (10)
9. Нацртати принципијелни дијаграм расподеле температуре уља и намотаја по висини уљног трансформатора. На дијаграму назначити температуре доњег уља, горњег уља, средње температуре намотаја и најтоплије тачке намотаја. Од чега зависи и на које вредности утиче вредност протока уља? (10)
10. Нацртати и објаснити заменску шему која описује појаве у комплетном фреквентном опсегу чела и зачеља пренапонског таласа. Од чега зависе вредности елемената шеме? (10)

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

1.



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 (изведен са високонапонске стране):

$$\beta_{\max} = \sqrt{\frac{P_0}{P_{kn}}} \Rightarrow P_{kn} = \frac{P_0}{\beta_{\max}^2} = 4803.7 \text{ W}$$

$$R_k'' = \frac{P_{kn}}{3I_{2nf}^2} = \frac{3803}{3 \cdot 577.4^2} = 4.80 \text{ m}\Omega \Rightarrow R_1'' \approx R_2'' \approx \frac{R_k''}{2} = 2.40 \text{ m}\Omega$$

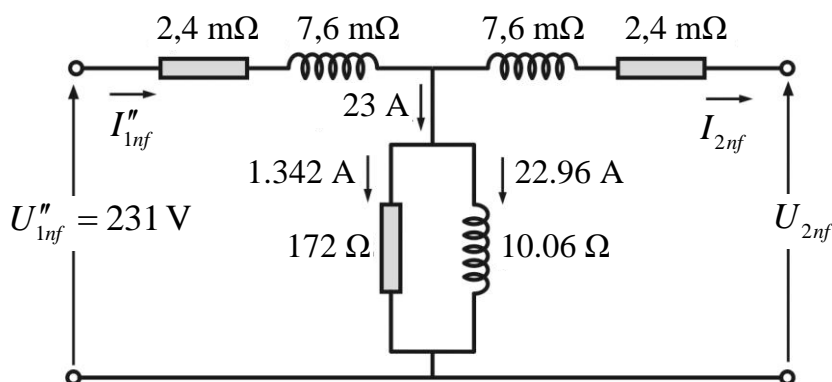
$$U_{kf} = U_k = 800 \text{ V (фазна вредност напона кратког споја са ВН стране)}$$

$$I_{1nf} = \frac{S_n}{3U_{1nf}} = 6.667 \text{ A}$$

$$Z_k'' = Z_k' \cdot \frac{1}{n^2} = \frac{U_{kf}}{I_{1nf}} \cdot \frac{1}{n^2} = \frac{800}{6.667} \cdot \frac{1}{86.6^2} = 16 \text{ m}\Omega$$

$$X_k'' = \sqrt{Z_k''^2 - R_k''^2} = 15.26 \text{ m}\Omega \Rightarrow X_{\sigma 1}'' \approx X_{\sigma 2}'' \approx \frac{X_k''}{2} = 7.63 \text{ m}\Omega$$

Заменска шема са параметрима и величинама сведеним на НН страну:



3. Губитке у гвожђу треба раздвојити на губитке услед хистерезиса и губитке услед вихорних струја:

$$\left. \begin{aligned} P_0^{50} &= P_H^{50} + P_V^{50} \\ P_0^{60} &= P_H^{60} + P_V^{60} = P_H^{50} \cdot \left(\frac{60}{50}\right)^{1-n_s} + P_V^{50} \end{aligned} \right\} \Rightarrow P_H^{50} = \frac{P_0^{50} - P_0^{60}}{1 - (60/50)^{1-n}} = 542.5 \text{ W}$$

Губици услед вихорних струја су константни јер је ефективна вредност напона непромењена. Губици услед вихорних струја код задатог трансформатора једнаки су:

$$P_V^{50} = P_0^{50} - P_H^{50} = 387.5 \text{ W}$$

Промена дебљине лимова утиче на губитке услед вихорних струја, док се губици услед хистерезиса неће променити. Вредност губитака у гвожђу код новог трансформатора износи:

$$P_0^{novo} = P_H^{50} + P_V^{50} \cdot \left(\frac{d}{d_{novo}}\right)^2 = 714.7 \text{ W}$$

4. Активна и реактивна снага којим мотор оптерећује трансформатор:

$$P_m = P_n / \eta_n = 212.8 \text{ kW}$$

$$Q_m = P_m \tan \varphi_n = 126.3 \text{ kvar}$$

Како би напон секундара био једнак напону примара, потребно је да буде испуњен услов:

$$\Delta u \approx a = \beta(u_r \cos \varphi + u_x \sin \varphi) = 0$$

при чему је:

$$\left. \begin{aligned} u_r &= \frac{P_{kn}}{S_n} \cdot 100\% = 1.2\% \\ u_k &= \frac{U_k}{U_{1n}} \cdot 100\% = 4\% \end{aligned} \right\} \Rightarrow u_x = \sqrt{u_k^2 - u_r^2} = 3.82\%$$

Сада се има да је, за случај када је напон секундара једнак сведеној вредности напона примара:

$$\varphi = -\arctan \frac{u_r}{u_x} = -17.47^\circ \Rightarrow Q_\Sigma = P_m \cdot \tan \varphi = -67 \text{ kvar}$$

одакле се добија да је потребна снага батерије кондензатора:

$$Q_c = Q_m - Q_\Sigma = 193 \text{ kvar}$$

Степен искоришћења пре и после компензације:

$$\beta_{necomp} = \frac{\sqrt{P_m^2 + Q_m^2}}{S_n} = 0.618 \Rightarrow \eta_{necomp} = \frac{P_m}{P_m + \beta_{necomp}^2 P_{kn} + P_0} \cdot 100\% = 98.72\%$$

$$\beta_{komp} = \frac{\sqrt{P_m^2 + Q_\Sigma^2}}{S_n} = 0.558 \Rightarrow \eta_{komp} = \frac{P_m}{P_m + \beta_{komp}^2 P_{kn} + P_0} \cdot 100\% = 98.87\%$$

5. Прочитати текст од другог пасуса испод слике 2.3. до слике 2.6.

6. Поновљено питање: Колоквијум новембар 2016, задатак 9.

7. На основу једначина физичке очигледности на месту кvara за једнополни кратак спој код намотаја спреге уп има се да је (ако се усвоји да се кратак спој догодио између крајева фазе a):

$$\underline{I}_d'' = \underline{I}_0'' = \underline{I}_i'' = \frac{\underline{I}_a}{3}$$

$$\underline{U}_a = \underline{U}_d'' + \underline{U}_i'' + \underline{U}_0'' = 0$$

С обзиром на то да су намотаји примара спрегнути у троугао, омогућено је затварање нулте компоненте и на примарној страни, па је импеданса за нулти редослед једнака импедансама за директни и инверзни редослед: $\underline{Z}_d'' = \underline{Z}_i'' = \underline{Z}_0'' = \underline{Z}_k''$. Узимајући ову чињеницу у обзир, ако се датом сету једначина додају напонске једначине за директни, инверзни и нулти компонентни систем:

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

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

$$0 - \underline{Z}_0'' \underline{I}_0'' = \underline{U}_0''$$

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

$$\underline{I}_d'' = \underline{I}_0'' = \underline{I}_i'' = \frac{\underline{U}_{2nf}}{\underline{Z}_k''} \Rightarrow \underline{I}_a = \frac{3\underline{U}_{2nf}}{\underline{Z}_k''} = (13 - j41.3) \text{ kA} = 43.3 \angle -72.5^\circ \text{ kA}$$

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

$$\underline{I}_A = \frac{\underline{I}_a}{n} = (150.1 - j476.9) \text{ A} = 500 \angle -72.5^\circ \text{ A}$$

$$\underline{I}_B = \underline{I}_C = 0$$

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

$$\underline{I}_{Alin} = \underline{I}_A = (150 - j476.9) \text{ A} = 500 \angle -72.5^\circ \text{ A}$$

$$\underline{I}_{Blin} = 0$$

$$\underline{I}_{Clin} = -\underline{I}_A = (-150 + j476.9) \text{ A} = 500 \angle 107.5^\circ \text{ A}$$

$$8. \quad S_1 = \frac{S_\Sigma}{\frac{u_{k1}}{S_{n1}} \left(\frac{S_{n1}}{u_{k1}} + \frac{S_{n2}}{u_{k2}} \right)} = 432 \text{ kVA}$$

$$S_2 = \frac{S_\Sigma}{\frac{u_{k2}}{S_{n2}} \left(\frac{S_{n1}}{u_{k1}} + \frac{S_{n2}}{u_{k2}} \right)} = 518 \text{ kVA}$$

Први трансформатор је преоптерећен. Максимално трајно дозвољено оптерећење је оно при ком ће први трансформатор бити номинално оптерећен:

$$S_{\max} = \frac{S_{n1}}{S_1} S_\Sigma = 880 \text{ kVA} \Rightarrow S'_1 = S_{n1} = 400 \text{ kVA}; S'_2 = \frac{S_{\max}}{S_\Sigma} S_2 = 480 \text{ kVA}$$

9. Слика 5. Б. Вредност протока уља зависи од хидрауличког отпора струјању уља кроз затворену контуру, као и погонске силе која изазива кретање уља (пумпа или термосифонски ефекат). Проток утиче на вредност вертикалног градијента температуре, али и на пораст температуре намотај – уље, као и на пораст температуре уље – амбијент, услед промене коефицијента преласка топлоте струјањем, који зависи од брзине струјања уља (протока уља).

10. Поновљено питање: Испит фебруар 2018., задатак 9.