

ЕНЕРГЕТСКИ ТРАНСФОРМАТОРИ (ОГЗЕТ)

- јул 2013 -

Београд, 3.07.2013.

Трофазни уљни трансформатор са номиналним подацима: $S_n = 1600 \text{ kVA}$, $U_{1n} / U_{02} = 35 / 0,4 \text{ kV}$, $f = 50 \text{ Hz}$, спрега Yd7, испитан је у огледима празног хода и кратког споја, при чему је добијено:

ПХ: $P_{0n} = 2,6 \text{ kW}$, $U_{0n} = 0,4 \text{ kV}$, $j_{0n} = 0,9 \%$

КС: $P_{kn} = 14,7 \text{ kW}$, $u_{kn} = 5 \%$, $I_k = I_n$

1. Нацртати шему веза и векторски дијаграм напона представљајући намотаје као калемове. Означити све крајеве намотаја (почетке и крајеве). **(10)**
2. Израчунати Филдов сачинилац на 75°C сматрајући га истим за оба намотаја и додатне губитке на 20°C ако су отпорности мерене једносмерном струјом на 20°C између прикључних крајева примара и секундара $R_1 = 5,62 \Omega$ и $R_2 = 0,7 \text{ m}\Omega$ респективно. **(10)**
3. Израчунати параметре еквивалентне заменске шеме трансформатора са НН стране. Нацртати шему са унетим бројним вредностима параметара и електричним величинама. **(10)**
4. Асинхрони мотор следећих номиналних података: $P_n = 1 \text{ MW}$, $U_{nl} = 400 \text{ V}$, $\cos\varphi = 0,82$, $\eta_n = 92 \%$, спрега Δ , прикључен је на секундарне крајеве датог трансформатора и ради у номиналном режиму. Колики је капацитет кондезатора у спреси звезда које треба прикључити паралелно датом мотору тако да напон на секундару трансформатора буде номиналан? Колико износи степен искоришћења снаге трансформатора при оваквом комбинованом оптерећењу? **(10)**
5. Ако се на задати трансформатор са почетним порастом температуре од 10 K прикључи мотор из претходног задатка који ради у номиналном радном режиму, пораст температуре трансформатора као хомогеног тела након $1,5 \text{ h}$ рада износи 30 K . Колика је временска константа загревања трансформатора? **(10)**
6. Ако се задатом трансформатору паралелно прикључи трансформатор исте снаге, спреге и напона али са губицима кратког споја $16,5 \text{ kW}$ и процентуалним напоном кратког споја 6% израчунати заједнички напон на секундарним крајевима ако прикључено симетрично оптерећење троши линијску струју $(3000 + j2000) \text{ A}$. Користити упрошћену формулу за пад напона. **(10)**
7. Нацртати шему веза намотаја Скотовог трансформатора чији су напони $U_1/U_2 = 3 \times 400/2 \times 200 \text{ V}$. Ако су струје оптерећења са секундарне стране $I_a = (20 + j60)\sqrt{3} \text{ A}$ и $I_b = (40 - j50) \text{ A}$ израчунати струје са примарне стране. Реална оса комплексног координатног система је у правцу напона \underline{U}_{2b} . **(10)**
8. Извести изразе за фазне напоне секундара и нацртати векторски дијаграм примарних и секундарних напона при једнофазном (двополном) кратком споју фазе „а“ намотаја секундара трансформатора спреге Yd7. **(10)**
9. Скицирати расподелу флукса расипања трансформатора и дефинисати поље расипања. Због чега је потребно добро познавање поља расипања као и одговарајуће реактансе која га представља? **(10)**
10. Објаснити диференцијалну заштиту трансформатора. **(10)**

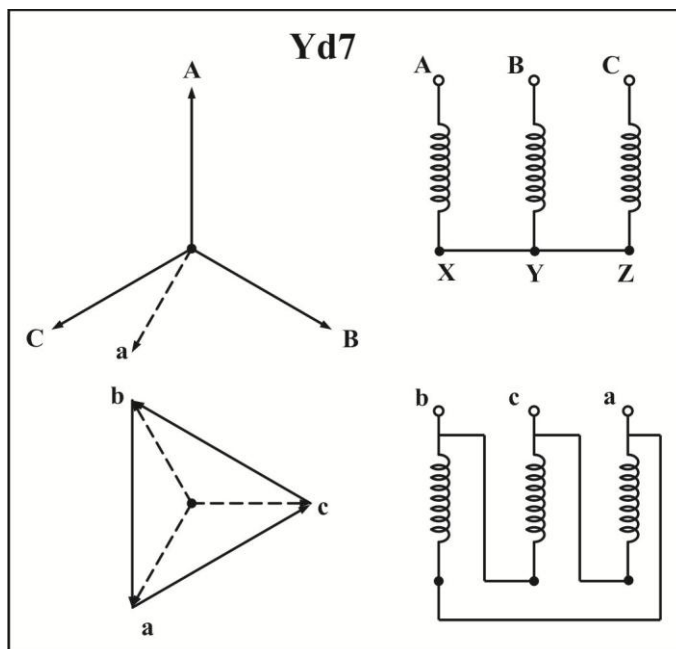
Испит траје 3 сата. Дозвољено је поседовање само једне вежбанке за рад. Прецртати што није за преглед.

Проф. др Зоран Лазаревић

ЕНЕРГЕТСКИ ТРАНСФОРМАТОРИ (ОГЗЕТ)
- јул 2013 -

3.07.2013.г.

1.



2.

$$R_{1fDC}^{20} = \frac{R_1}{2} = \frac{5,62}{2} = 2,81\Omega, \quad R_{2fDC}^{20} = \frac{3}{2} \cdot R_2 = \frac{3}{2} \cdot 0,7 \cdot 10^{-3} = 1,05 m\Omega$$

$$R_{1fDC}^{75} = R_{1fDC}^{20} \cdot \frac{235+75}{235+20} = 3,42\Omega, \quad R_{2fDC}^{75} = R_{2fDC}^{20} \cdot \frac{235+75}{235+20} = 1,28 m\Omega$$

$$P_{DC}^{75} = 3 \cdot \left(R_{1fDC}^{75} I_{1nf}^2 + R_{2fDC}^{75} I_{2nf}^2 \right) = 3 \cdot \left(3,42 \cdot 26,4^2 + 1,28 \cdot 10^{-3} \cdot 1333^2 \right) = 13974 W$$

$$P_d^{75} = P_{kn} - P_{DC}^{75} = 14700 - 13974 = 726 W$$

$$P_d^{20} = P_d^{75} \cdot \frac{310}{255} = 882,6 W, \quad k_F^{75} = \frac{P_k^{75}}{P_{DC}^{75}} = \frac{14700}{13974} = 1,052$$

3. ПХ:

$$R_a'' = \frac{U_{02f}^2}{P_{0f}} = \frac{3 \cdot 400^2}{2600} = 184,6\Omega \Rightarrow I_{a2} = \frac{U_{02f}}{R_a''} = \frac{400}{184,6} = 2,17 A$$

$$I_{02} = \frac{j_0}{100} \cdot I_{2nf} = \frac{0,9}{100} \cdot 1333 = 12 A \Rightarrow I_{\mu 2} = \sqrt{I_{02}^2 - I_{a2}^2} = \sqrt{12^2 - 2,17^2} = 11,8 A$$

$$\beta = \frac{S_{kom}}{S_n} = \frac{1106}{1600} = 0,691, \cos \varphi_{kom} = \frac{P_m}{S_k} = \frac{1087}{1106} = 0,983$$

$$\eta = \frac{\beta S_n \cos \varphi_{kom} \cdot 100}{\beta S_n \cos \varphi_{kom} + P_{Fe} + \beta^2 P_{kn}} = \frac{0,691 \cdot 1600 \cdot 0,983 \cdot 100}{0,691 \cdot 1600 \cdot 0,983 \cdot 100 + 2,6 + 0,983^2 \cdot 14,7} = 99,12 \%$$

$$5. S_m = \sqrt{P_m^2 + Q_m^2} = \sqrt{1087^2 + 759^2} = 1326 \text{ kVA} \Rightarrow \beta = \frac{S_m}{S_n} = \frac{1326}{1600} = 0,829$$

$$\theta'_m = \theta_m \frac{P_0 + \beta^2 P_k}{P_0 + P_k} = 65 \cdot \frac{2,6 + 0,829^2 \cdot 14,7}{2,6 + 14,7} = 47,6 \text{ K}, \quad \theta_0 = 10 \text{ K}$$

$$\theta_{1,5h} = \theta'_m \left(1 - e^{-\frac{t}{T}} \right) + \theta_0 e^{-\frac{t}{T}} \Rightarrow T = \frac{t}{\ln \frac{\theta'_m - \theta_0}{\theta'_m - \theta_{1,5h}}} = \frac{1,5}{\ln \frac{47,6 - 10}{47,6 - 30}} = 1,98 \text{ h} \approx 2 \text{ h}$$

6. Компоненте напона кратког споја трансформатора су:

$$u_r = \frac{P_k}{S_n} \cdot 100 = \frac{16500}{1600 \cdot 10^3} \cdot 100 = 1,03 \%, u_x = \sqrt{u_k^2 - u_r^2} = 5,91 \%$$

Комплексне вредности импеданси кратког споја у процентима износе:

$$z_{k2,\%} = u_{r2} + j u_{x2} = 1,03 + j 5,91$$

$$z_{k1,\%} = u_{r1} + j u_{x1} = 0,92 + j 4,92$$

Струја којом је оптерећен први трансформатор добија се из израза за струјни разделник на импедансама два паралелно спрегнута трансформатора:

$$\underline{I}_1 = \frac{z_{k2,\%}}{z_{k1,\%} + z_{k2,\%}} \frac{\underline{I}}{\sqrt{3}} = \frac{1,03 + j 5,91}{(0,92 + j 4,92) + (1,03 + j 5,91)} \frac{(3000 + j 2000)}{\sqrt{3}}$$

$$\underline{I}_1 = (940,7 + j 634,8) \text{ A}$$

Па је одатле релативна вредност оптерећења трансформатора:

$$|\underline{I}_1| = 1135 \text{ A}, \quad \beta_1 = \frac{1135}{1333} = 0,851, \cos \varphi = \frac{634,8}{1135} = 0,56 \text{ кап}, \sin \varphi = \frac{940,7}{1135} = -0,83$$

Сада се може израчунати пад напона на овом трансформатору и заједнички напон на секундару два трансформатора који раде у паралели:

$$\Delta u = \beta_1 (u_{r1} \cos \varphi + u_{x1} \sin \varphi) = 0,851 \cdot (0,92 \cdot 0,5 - 5,23 \cdot 0,83) = -3,3 \%$$

$$U_2 = U_{02} \left(1 - \frac{\Delta u}{100} \right) = 413,2 \text{ V}$$

7. Из једначина које представљају једнакост магнетопобудних сила примарних и секундарних намотаја добијају се струје примара трансформатора у Скотовој спрези:

$$I_A \frac{\sqrt{3}}{2} N_1 = \underline{I}_A N_2 \Rightarrow \underline{I}_A = \frac{2}{\sqrt{3}} \frac{N_2}{N_1} \underline{I}_A = \frac{2}{\sqrt{3}} \cdot \frac{200}{400} \cdot (20 + j 60) \sqrt{3} = (20 + j 60) \text{ A}$$

$$\left. \begin{aligned} I_B \frac{N_1}{2} - I_C \frac{N_1}{2} &= N_2 I_b \\ I_A + I_B + I_C &= 0 \end{aligned} \right\} \Rightarrow I_B = \frac{1}{2}(I_b - I_A), \quad I_C = -\frac{1}{2}(I_A + I_b)$$

$$I_B = \frac{1}{2}(20 + j60 - 40 + j50) = (-10 + j55) \text{ A}$$

$$I_C = -\frac{1}{2}(20 + j60 + 40 - j50) = (-30 - j5) \text{ A}$$

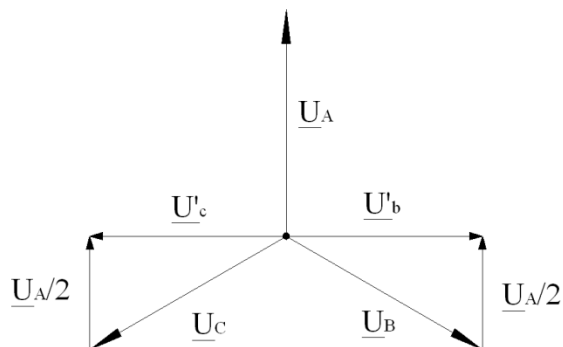
Шема – теоријски део

8. Теорија

Ако се усвоји да је $n = 1$ може се извести следећа зависност секундарних напона од примарних при двополном кратком споју на секундарној страни.

$$\underline{U}_a = 0; \quad \underline{U}_b = \underline{U}_B + \frac{\underline{U}_A}{2}; \quad \underline{U}_c = \underline{U}_C + \frac{\underline{U}_A}{2}$$

Што резултује следећи векторским дијаграмом:



9. Теорија

10. Теорија