

ЕНЕРГЕТСКИ ТРАНСФОРМАТОРИ (13E013ЕНТ)

- јануар 2021 -

Београд, 23.01.2021.

Трофазни уљни трансформатор са номиналним подацима: $S_n = 8000 \text{ kVA}$, $U_{1n} / U_{02} = 35 / 10,5 \text{ kV}$, $f = 50 \text{ Hz}$, спрега Dyn11, испитан је у огледима празног хода и кратког споја, при чему је добијено:

$$\text{ПХ: } P_0 = 6,7 \text{ kW}, U_0 = 10,5 \text{ kV}, j_0 = 0,6 \%$$

$$\text{КС: } P_k = 47,7 \text{ kW}, U_k = 2415 \text{ V}, I_k = 132 \text{ A}$$

Попречни пресек магнетског кола износи $S'_{Fe} = 997 \text{ cm}^2$, а коефицијент испуне гвожђем 0,97.

1. Нацртати шеме веза и векторски дијаграм напона представљајући намотаје као калемове. Означити све почетке и крајеве намотаја. (Т8)
2. Израчунати вредност максималне индукције у језгру и број навојака примара датог трансформатора ако индукована електромоторна сила по навојку секундарара износи 35,85 V. (38)
3. Израчунати параметре еквивалентне заменске шеме трансформатора са НН стране. Нацртати шему са унетим бројним вредностима параметара и електричним величинама. (314)
4. Израчунати пад напона на секундару задатог трансформатора ако он напаја трофазно симетрично оптерећење које троши линијску струју комплексне вредности $(300+j100) \text{ A}$ уз одговарајуће симетричне помераје по фазама. Колико износи степен искоришћења снаге трансформатора у овом случају? (312)
5. Нацртати топлотну шему са два чвора и два топлотна капацитета и објаснити значење симбола на шеми. (Т6) Објаснити које се топлотне проводности у шеми мењају, и зашто, када се мења режим рада (са ONAN на ONAF, а затим на ODAF) (Т6). Нацртати дијаграм промене температуре по затвореној контури струјања уља и упрошћени дијаграм промене температуре по висини намотаја, за сваки од три режима рада. (Т6)
6. Нацртати расподелу пренапона на уземљеном намотају трансформатора. Која су критична места и због чега? Ако је амплитуда пренапонског таласа 1 MV колико износи максимални напон према маси у току прелазног процеса? Коефицијент расподеле пренапона износи $\alpha = 10$, а висина намотаја 650 mm. (312)
7. Израчунати критичну вредност струје трополног кратког споја трансформатора са секундарне стране и коефицијент критичности. (312)
8. Од датог трансформатора превезивањем намотаја формирати аутотрансформатор спреге Yy тако да се добије максимална могућа пролазна снага и израчунати ту снагу. Нацртати шему веза овог трансформатора са ознакама, израчунати његов напон кратког споја као и максимални могући степен искоришћења снаге. (312)
9. Како ће се расподелити укупно оптерећење од 16 MVA ако се паралелно задатом прикључи трансформатор исте спреге, снаге $S_n = 5 \text{ MVA}$ и напона кратког споја $u_k = 5 \%$? Колико дуго могу да раде дати трансформатори у овим условима (речима објаснити, без израчунавања)? (312)
10. Увести апроксимацију стварног облика магнетног хистерезиса са две праве линије и на основу ње извести израз за максималну вредност струје при укључењу трансформатора у празном ходу. Потребно је дефинисати сваку од величина које фигуришу у коначном изразу користећи текстуални опис или означавање на графику. (Т12)

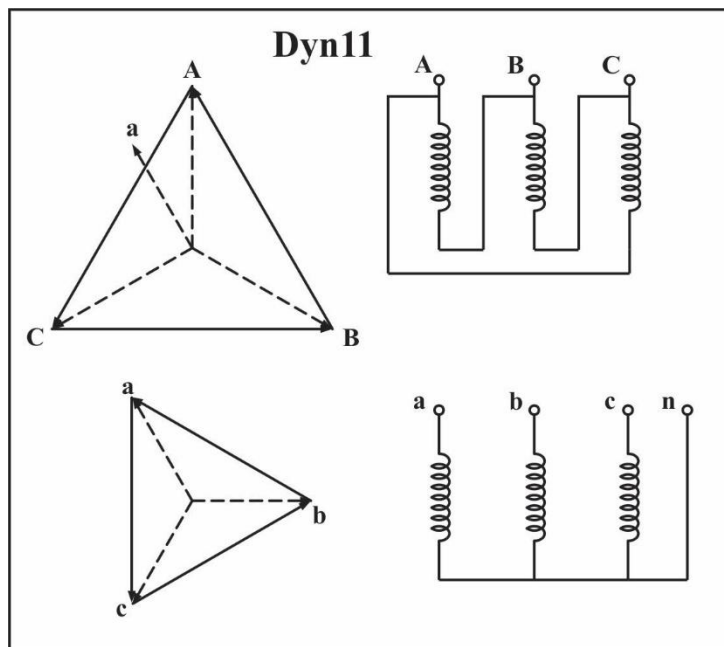
Испит траје 3 сата. Други колоквијум (задаци 6 до 10) траје 90min. Дозвољено је поседовање само једне вежбанке за рад. Прецртати што није за преглед.

др Зоран Радаковић
др Зоран Лазаревић

РЕШЕЊА

21.01.2021.г.

1.



2.

$$E_{21} = \frac{U_2}{N_2} = 4,44 f B_m S_{Fe} = 4,44 f B_m k_{Fe} S'_{Fe} \Rightarrow B_m = \frac{E_{21}}{4,44 f k_{Fe} S'_{Fe}} = \frac{35,85}{4,44 \cdot 50 \cdot 0,97 \cdot 997 \cdot 10^{-4}} \approx 1,67 T$$

$$E_{11} = E_{21} \Rightarrow N_1 = \frac{U_1}{E_{21}} = \frac{35 \cdot 10^3}{35,85} \approx 976 \text{ nav.}$$

3. ПХ:

$$R_a'' = \frac{U_{02f}^2}{P_{0f}} = \frac{10,5^2 \cdot 10^6}{6,7 \cdot 10^3} = 16,4 k\Omega \Rightarrow I_{a2} = \frac{U_{02f}}{R_a''} = \frac{10,5 \cdot 10^3}{\sqrt{3} \cdot 16,4 \cdot 10^3} = 0,37 A$$

$$I_{02} = \frac{j_0}{100} \cdot I_{2nf} = \frac{0,6}{100} \cdot 440 = 2,64 A \Rightarrow I_{\mu 2} = \sqrt{I_{02}^2 - I_{a2}^2} = \sqrt{2,64^2 - 0,37^2} = 2,61 A$$

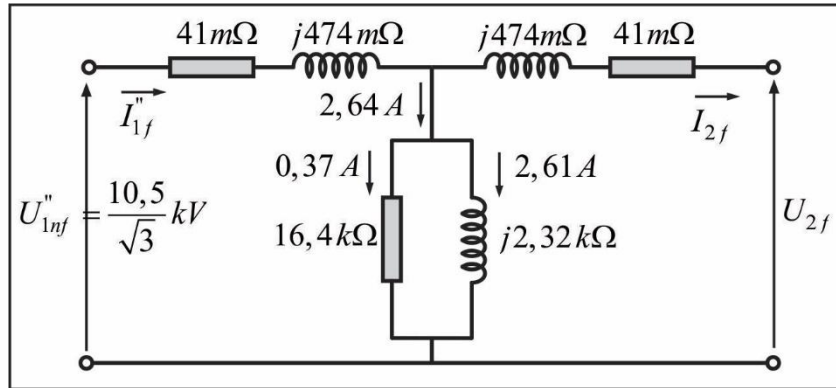
$$X_{\mu}'' \approx \frac{U_{02f}}{I_{\mu 2f}} = \frac{10,5 \cdot 10^3}{\sqrt{3} \cdot 2,61} = 2,32 k\Omega$$

КС:

$$R_k'' = \frac{P_k}{3I_{2nf}^2} = \frac{47,7 \cdot 10^3}{3 \cdot 440^2} = 82,1 \text{ m}\Omega \Rightarrow R_1'' \approx R_2 = \frac{R_k''}{2} = 41 \text{ m}\Omega$$

$$Z_k'' = \frac{U_{knf}}{I_{2nf}} \cdot \frac{U_{02f}}{U_{1nf}} = \frac{2415}{440} \cdot \frac{10,5}{\sqrt{3} \cdot 35} = 952 \text{ m}\Omega \Rightarrow X_k'' = \sqrt{Z_k''^2 - R_k''^2} = 948 \text{ m}\Omega$$

$$X_{\sigma 1}'' \approx X_{\sigma 2} = \frac{X_k''}{2} = 474 \text{ m}\Omega$$



$$4. I_l = (300 + j100) \text{ A} \Rightarrow |I_l| = \sqrt{300^2 + 100^2} = 316,2 \text{ A} \Rightarrow \beta = \frac{|I_l|}{I_{2n}} = \frac{316,2}{440} = 0,72$$

$$\cos \varphi = \frac{300}{316,2} = 0,94 \text{ kap.} \Rightarrow \sin \varphi = 0,32, u_k = \frac{U_k}{U_{1n}} \cdot 100 = \frac{2415}{35000} \cdot 100 = 6,9\%$$

$$u_r = \frac{P_{kn}}{S_n} \cdot 100 = \frac{47,7 \cdot 10^3}{8000 \cdot 10^3} \cdot 100 = 0,596\% \Rightarrow u_x = \sqrt{u_k^2 - u_r^2} = 6,87\%$$

$$a = \beta(u_{rn} \cos \varphi - u_{xn} \sin \varphi) = 0,72(0,596 \cdot 0,94 - 6,87 \cdot 0,32) = -1,18\%$$

$$b = \beta(u_{xn} \cos \varphi + u_{rn} \sin \varphi) = 0,72(6,87 \cdot 0,94 + 0,596 \cdot 0,32) = 4,787\%$$

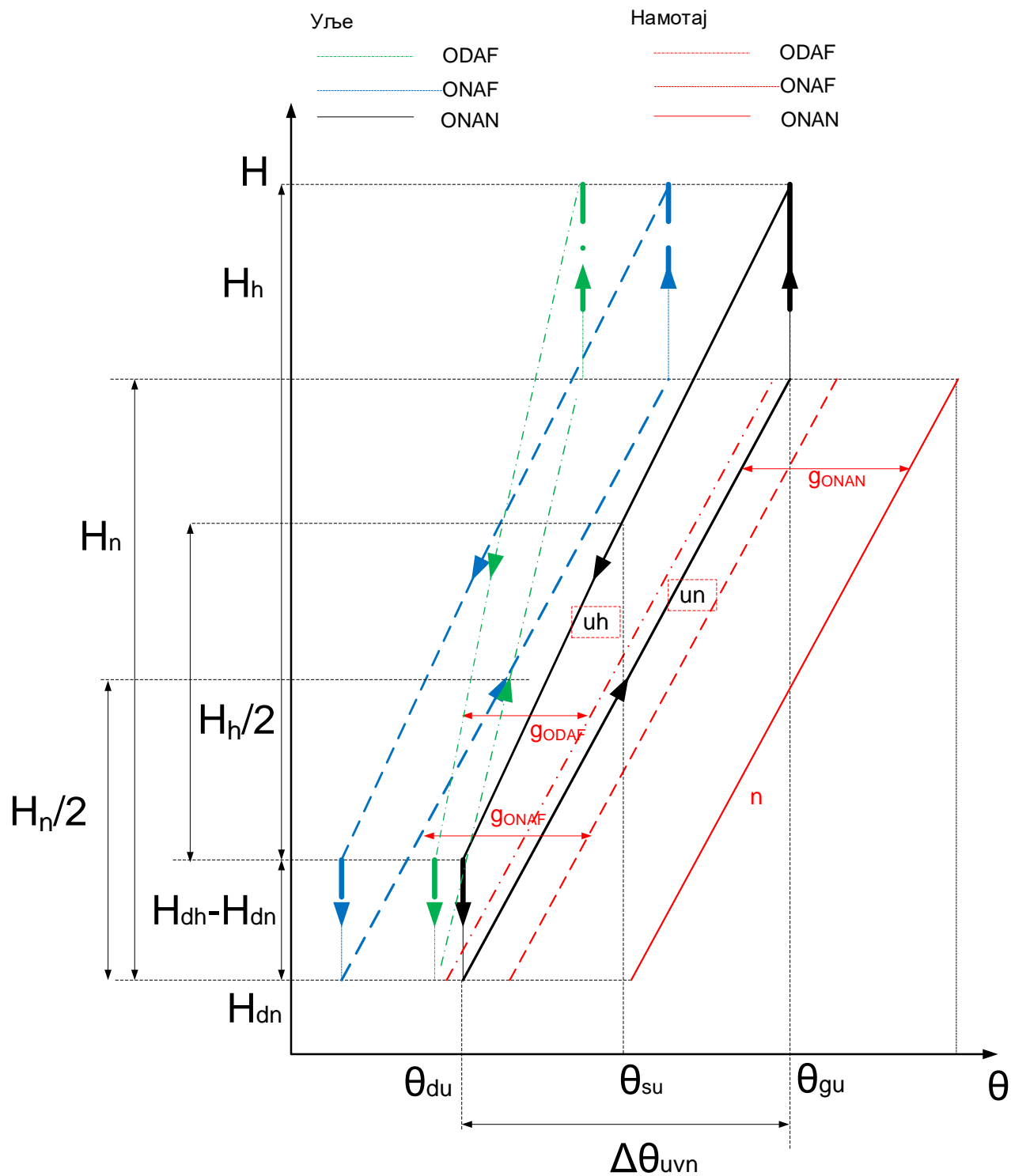
$$\Delta u = a + \frac{b^2}{200} = -1,179 + \frac{4,787^2}{200} = -1,064\% \Rightarrow \Delta U_2 = U_{02} \frac{\Delta u}{100} = -10,5 \cdot 10^3 \cdot \frac{1,064}{100} = -111,8 \text{ V}$$

$$\eta = \frac{\beta S_n \cos \varphi \cdot 100}{\beta S_n \cos \varphi + P_{Fe} + \beta^2 P_{kn}} = \frac{0,72 \cdot 8000 \cdot 10^3 \cdot 0,94 \cdot 100}{0,72 \cdot 8000 \cdot 10^3 \cdot 0,94 + 6,7 + 0,72^2 \cdot 47,7} = 99,42\%$$

5. Предавања, одељак 5.3.2.

Са повећањем брзине струјања ваздуха (промена са AN на AF) повећава се коефицијент преласка топлоте струјањем са радијатора на ваздух, због чега расте L_H и смањује се температура уља.

Са повећањем брзине струјања уља (промена са ON на OD) повећава се коефицијент преласка топлоте струјањем са намотаја на уље, због чега расте L_I и смањује се разлика температуре намотаја и уља g .



Дијаграм је нацртан за исто струјно оптерећење.

$$g_{ODAF} < g_{ONAF}; g_{ONAF} \approx g_{ONAN}$$

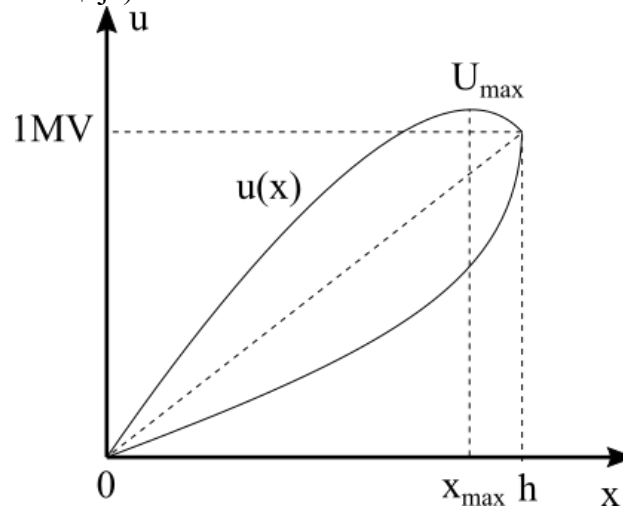
$$\Delta\theta_{uvn} ODAF < \Delta\theta_{uvn} ONAF; \Delta\theta_{uvn} ONAF \approx \Delta\theta_{uvn} ONAN$$

$$\theta_{su} ONAF < \theta_{su} ONAN; \theta_{su} ODAF \approx \theta_{su} ONAF$$

$$6. \quad u(x) = 2U \frac{x}{h} - U \frac{\text{sh}(\alpha x)}{\text{sh}(\alpha h)} \Rightarrow \frac{du(x)}{dx} = 2 \frac{U}{h} - U \alpha \frac{\text{ch}(\alpha x)}{\text{sh}(\alpha h)} = 0 \Rightarrow x_{\max} = \frac{1}{\alpha} \text{ach} \left(\frac{2\text{sh}(\alpha h)}{\alpha h} \right) = 532 \text{mm}$$

$$U_{\max} = u(x_{\max}) = \frac{2 \cdot 0,532}{0,65} - \frac{\text{sh}(5,32)}{\text{sh}(6,5)} = 1,33 \text{MV}$$

Критично место у погледу изолације је почетак намотаја где се у току прелазног процеса јавља максимални напон према маси (угрожена изолација према маси) и максимална стрмина напона (угрожена међузавојна изолација).



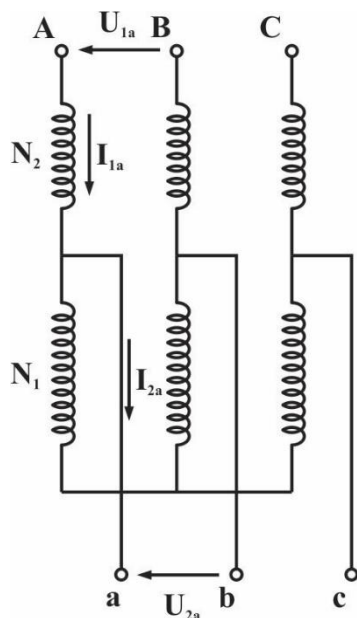
7. Критична струја при кратком споју се израчунава из израза:

$$I_{KR2} = \sqrt{2} \frac{I_{2nf} \cdot 100}{u_{k\%}} \left(1 + e^{-\frac{u_r \cdot 100}{u_x}} \right) = \sqrt{2} \cdot \frac{440 \cdot 100}{6,9} \left(1 + e^{-\frac{0,596 \cdot 100}{6,87}} \right) \approx 15,9 \text{kA}$$

А коефицијент критичности износи:

$$k_{KR} = \frac{I_{KR}}{\sqrt{2} \cdot I_{2nf}} = \frac{15,9 \cdot 10^3}{\sqrt{2} \cdot 440} = 25,5$$

8.



$$U_{1a} = \sqrt{3} (U_{1nf} + U_{02f}) = \sqrt{3} \left(35 + \frac{10,5}{\sqrt{3}} \right) = 71,1 \text{kV}$$

$$U_{2a} = \sqrt{3} \cdot U_{1nf} = 60,6 \text{kV}$$

$$n_a = \frac{U_{1a}}{U_{2a}} = \frac{71,1}{60,6} = 1,17$$

$$S_a = \frac{n_a}{n_a - 1} \cdot S_T = \frac{1,17}{1,17 - 1} \cdot 8 \cdot 10^6 \approx 55 \text{MVA}$$

$$u_{ka} = u_k \frac{S_T}{S_a} = 6,9 \cdot \frac{8}{55} = 1\%$$

$$\beta_{\max} = \sqrt{\frac{P_{0n}}{P_{kn}}} = \sqrt{\frac{6,7}{47,7}} = 0,375$$

$$\eta_{\max} = \frac{\beta_{\max} S_a}{\beta_{\max} S_a + 2 \cdot P_{0n}} = \frac{0,375 \cdot 55 \cdot 10^3}{0,375 \cdot 55 \cdot 10^3 + 2 \cdot 6,7} = 99,94\%$$

9. Укупно оптерећење се расподељује на следећи начин:

$$S_I = \frac{\Sigma S}{\frac{u_{kI}}{S_I} \left(\frac{S_I}{u_{kI}} + \frac{S_{II}}{u_{kII}} \right)} = \frac{16}{\frac{6,9}{8} \left(\frac{8}{6,9} + \frac{5}{5} \right)} = 8,6 \text{ MVA}$$

$$S_{II} = \Sigma S - S_I = 7,4 \text{ MVA}$$

Могућ је рад до достигања дозвољеног пораста температуре другог трансформатора који је значајно преоптерећен.

10. Предавања из Поглавља 6., слика 6.4 на страни 6, страна 7 и страна 8 закључно са формулом (6.20).