

# ЕНЕРГЕТСКИ ТРАНСФОРМАТОРИ (19E013ЕНТ)

- фебруар 2023 -

Београд, 20.02.2023.

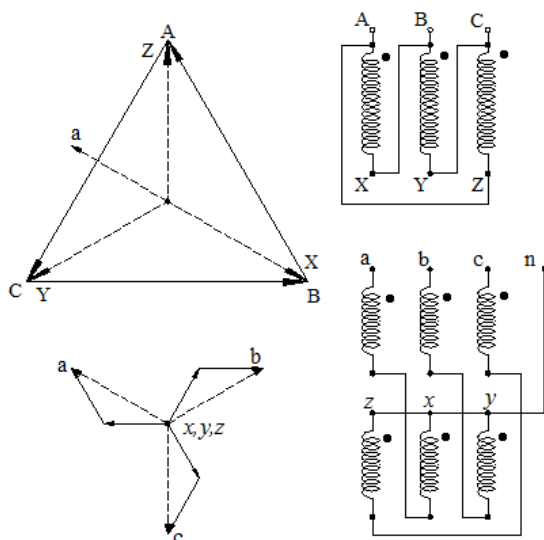
Трофазни уљни трансформатор са номиналним подацима:  $S_n = 1200 \text{ kVA}$ ,  $U_{1n} / U_{02} = 30 / 0,4 \text{ kV}$ ,  $f = 50 \text{ Hz}$ , спрега Dzn10, регулација  $\pm 2 \times 2,5 \%$  испитан је у огледима празног хода и кратког споја, при чему је добијено:  $P_0 = 2100 \text{ W}$ ,  $U_0 = 400 \text{ V}$ ,  $I_0 = 34,6 \text{ A}$  и  $P_k = 13000 \text{ W}$ ,  $U_k = 1800 \text{ V}$ ,  $I_k = 13,3\sqrt{3} \text{ A}$ . Висина оба намотаја је  $h = 450 \text{ mm}$ , а средњи пречник канала између намотаја  $D_{sr} = 300 \text{ mm}$ .

1. Нацртати шеме веза и векторски дијаграм напона представљајући намотаје као калемове и означити крајеве намотаја. Обавезно поставити хомологне тачке на одговарајућа места. (Т10)
2. Проценити реактансу расипања трансформатора ако се претпостави да је флукс расипања сконцентрисан само у радијалном каналу између намотаја ширине  $\delta = 22 \text{ mm}$ . Индукција је иста у свим тачкама канала и износи  $4,5 \text{ mT}$ . (310)
3. Израчунати параметре еквивалентне заменске шеме трансформатора са ВН стране. Нацртати шему са унетим бројним вредностима параметара и електричним величинама. (311)
4. Израчунати комплексну снагу потрошача при коме је степен искоришћења снаге трансформатора  $98,8 \%$ , а напон секундара номиналан. Користити упрошћену формулу за пад напона. (312)
5. Посматрајмо један монофазни трансформатор номиналне ефективне вредности напона примара  $U$ , који има  $N$  навојака. Позната је дужина ( $l_{Fe}$ ) и попречни пресек ( $S_{Fe}$ ) магнетног кола, као и начин преклапања лимова магнетног кола и дужина ( $l_0$ ) и попречни пресек преласка магнетног поља кроз преклопе ( $S_0$ ). Објаснити начин одређивања активне и реактивне компоненте струје празног хода трансформатора при номиналном напону на примару. Сматрати да су познате све потребне карактеристике материјала магнетног кола, дебљина лимова магнетног кола ( $d$ ) и учестаност ( $f$ ). (Т12)
6. Због чега постоји вертикални градијент температуре у намотајима, а због чега у радијаторима? Које компоненте падова температуре су садржане у разликама температуре намотаја и суседног уља, а које у разликама температуре уља у хладњаку и температуре спољашњег расхладног флуида на истој висинској позицији? Шта обухвата фактор најтоплије тачке? (Т12)
7. Ако се задатом трансформатору грешком паралелно прикључи трансформатор спреге Yzn11 са подацима:  $S_n = 1000 \text{ kVA}$ ,  $u_k = 5 \%$ , истих напона као задати и истих углова напона кратког споја  $\varphi_{k1} = \varphi_{k2}$ , израчунати релативну струју изједначења у намотајима секундара трансформатора сведену на номиналну струју секундара првог трансформатора. (38)
8. Скицирати промену вредности струје кратког споја у три периоде након настанка кратког споја за три случаја, када једносмерна компонента струје кратког споја износи: а) Нула, б) Око  $50 \%$  вредности коју она постиже у случају да се квар деси у најнеповољнијем тренутку, в) Максималну могућу вредност (при најнеповољнијем тренутку квара). Посматрати кратак спој до кога је дошло при неоптерећеном трансформатору. (Т12)
9. Нацртати заменску шему намотаја трансформатора чијим се решавањем може добити расподела потенцијала по запремини при било ком облику пренапонског таласа. Чему одговарају чворишта у шеми? (Т8)
10. Ако се намотаји једнофазног трансформатора снаге  $S_n = 400 \text{ kVA}$ , напона  $U_{1n} / U_{02} = 400 / 220 \text{ V}$  и напона кратког споја  $u_k = 5 \%$ , превезу тако да формирају аутотрансформатор напона  $U_{1na} / U_{02a} = 620 / 400 \text{ V}$ , израчунати максимални пад напона на секундару АТР ако се зна да је максимално дозвољено краткотрајно преоптерећење АТР  $30 \%$ . Користити упрошћену формулу за пад напона. (310)
11. Израчунати линијске струје примара задатог трансформатора при кратком споју крајева (а) и (п) секундара при чему су друга два краја отворена. У прорачуну усвојити да је импеданса кратког споја трансформатора чисто реактивна. (310)

Испит траје 3 сата. Други колоквијум (задаци 6 до 11) траје 120min. Дозвољено је поседовање само једне вежбанке за рад. Прецртати што није за преглед.

др Зоран Радаковић

1.



2.

Запремина радијалног канала где се простире флуks расипања износи:

$$V_{\delta} = \pi D_m \delta h = \pi \cdot 300 \cdot 22 \cdot 450 = 9,33 \text{ m}^3$$

Максимална енергија магнетског поља које потиче од расипног флуksа:

$$W_m = \frac{1}{2\mu_0} B_m^2 V_{\delta} = \frac{1}{2 \cdot 4\pi \cdot 10^{-7}} (4,5 \cdot 10^{-3})^2 \cdot 9,33 = 75,17 \text{ J}$$

Па је из тога расипна реактанса:

$$X_k = \frac{W_m \omega}{I_{1nf}^2} = \frac{75,17 \cdot 314}{13,3^2} = 133,4 \Omega$$

3. ПХ:

$$R_a = \frac{U_{1nf}^2}{P_{0n}/3} = \frac{(30 \cdot 10^3)^2}{2100/3} = 1286 \text{ k}\Omega \Rightarrow I_{a1f} = \frac{U_{1nf}}{R_a} = \frac{30 \cdot 10^3}{1286 \cdot 10^3} = 23,3 \text{ mA}$$

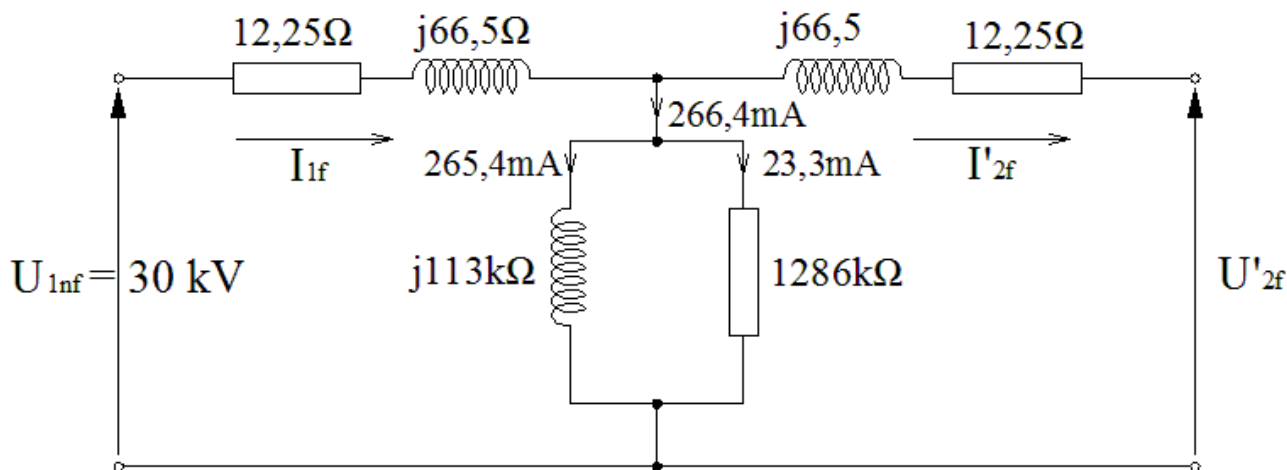
$$I_{01f} = \frac{I_{02}}{n} = \frac{I_{02} U_{02}}{U_{1nf} \sqrt{3}} = \frac{34,6 \cdot 400}{30 \cdot 10^3 \sqrt{3}} = 266,4 \text{ mA} \Rightarrow I_{\mu 1f} = \sqrt{I_{01f}^2 - I_{a1f}^2} = 265,4 \text{ mA}$$

$$X_{\mu} = \frac{U_{1nf}}{I_{\mu 1f}} = \frac{30 \cdot 10^3}{265,4 \cdot 10^{-3}} = 113 \text{ k}\Omega$$

КС:

$$R_k = \frac{P_k}{3I_{kf}^2} = \frac{13000}{3 \cdot 13,3^2} = 24,5 \Omega \Rightarrow R_1 \approx R'_2 = \frac{R_k}{2} = 12,25 \Omega$$

$$Z_k = \frac{U_{kf}}{I_{kf}} = \frac{1800}{13,3} = 135,3 \Omega \Rightarrow X_k = \sqrt{Z_k^2 - R_k^2} = 133,1 \Omega \Rightarrow X_{\sigma 1} \approx X'_{\sigma 2} = \frac{X_k}{2} = 66,5 \Omega$$



4. Процентуални номинални напон кратког споја и његове компоненте су:

$$u_k = \frac{U_k}{U_{1n}} \cdot 100 = \frac{1800}{30000} \cdot 100 = 6 \%, \quad u_r = \frac{P_k}{S_n} \cdot 100 = \frac{13000}{1200 \cdot 10^3} \cdot 100 = 1,083 \%$$

$$u_x = \sqrt{u_k^2 - u_r^2} = 5,9 \%$$

Из упрошћене формуле за пад напона и услова да је једнак нули следи фактор снаге непознатог потрошача:

$$\Delta u \approx a = u_r \cos \varphi + u_x \sin \varphi = 0 \Rightarrow \operatorname{tg} \varphi = -\frac{1}{\operatorname{tg} \varphi_k} = -\frac{u_r}{u_x} \Rightarrow \cos \varphi = \cos \left( \arctg \left( -\frac{u_r}{u_x} \right) \right)$$

$$\cos \varphi = 0,98, \quad \sin \varphi = -0,199$$

Затим се из израза за степен искоришћења снаге трансформатора и познатог фактора снаге може израчунати релативно оптерећење:

$$\eta = \frac{\beta S_n \cos \varphi}{\beta S_n \cos \varphi + \beta^2 P_{kn} + P_{0n}} = \frac{\beta \cdot 1200 \cdot 0,98}{\beta \cdot 1200 \cdot 0,98 + \beta^2 \cdot 13 + 2,1} = 0,988$$

$$12,84\beta^2 - 14,23\beta + 2,07 = 0 \Rightarrow \beta_1 = 0,924 \wedge \beta_2 = 0,175$$

$$\underline{S}_1 = \beta_1 S_n (\cos \varphi + j \sin \varphi) = 0,924 \cdot 1200 \cdot (0,98 - j0,199) = (1086 - j220) \text{ kVA}$$

$$\underline{S}_2 = \beta_2 S_n (\cos \varphi + j \sin \varphi) = 0,175 \cdot 1200 \cdot (0,98 - j0,199) = (206 - j42) \text{ kVA}$$

5. Предавања, Поглавље 2.

Вредност магнетне индукције у језгру се израчунава коришћењем једначине (2.29).

Струја магнећења: одељак 2.2.1.

Активна компонента струје празног хода је једнака количнику губитака и напона. Губици: текст испод слике 2.16. изрази (2.4) – (2.7), израз (2.16) и израз (2.17).

6. Вертикални градијент температуре у намотајима је последица преласка топлоте са намотаја на уље које струји вертикално, одоздо ка горе, кроз намотај.

Вертикални градијент температуре у радијаторима је последица преласка топлоте од уља, које струји вертикално, одозго ка доле, ка спољашњем ваздуху.

Компоненте падова температуре су садржане у разликама температуре намотаја и суседног уља: провођење кроз слој чврсте изолације и струјање са спољње површи изолације на уље.

Компоненте падова температуре су садржане у разликама температуре уља у хладњаку и спољашњег ваздух на истој висинској позицији: струјање са уља на зид радијатора, провођење кроз зид радијатора, струјање са спољње површи радијатора на ваздух.

Фактор најтоплије тачке обухвата неравномерност губитака и неравномерност хлађења појединих проводника у намотају.

7. Разлика фазних ставова фазних напона секундарна ова два трансформатора је  $30^\circ$  тако да амплитуда векторске разлике фазних напона која узрокује циркулациону струју износи:

$$\Delta U = 2U_{02f} \sin 15^\circ$$

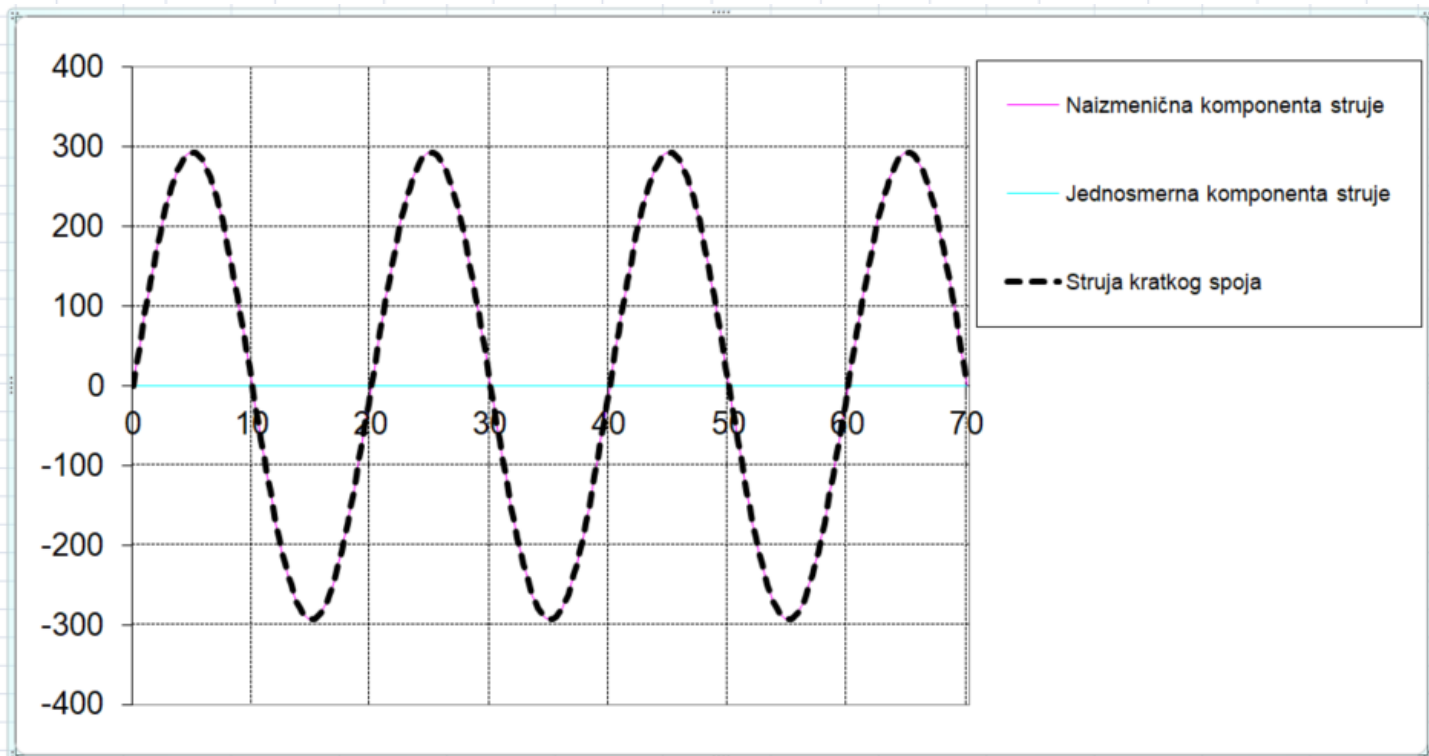
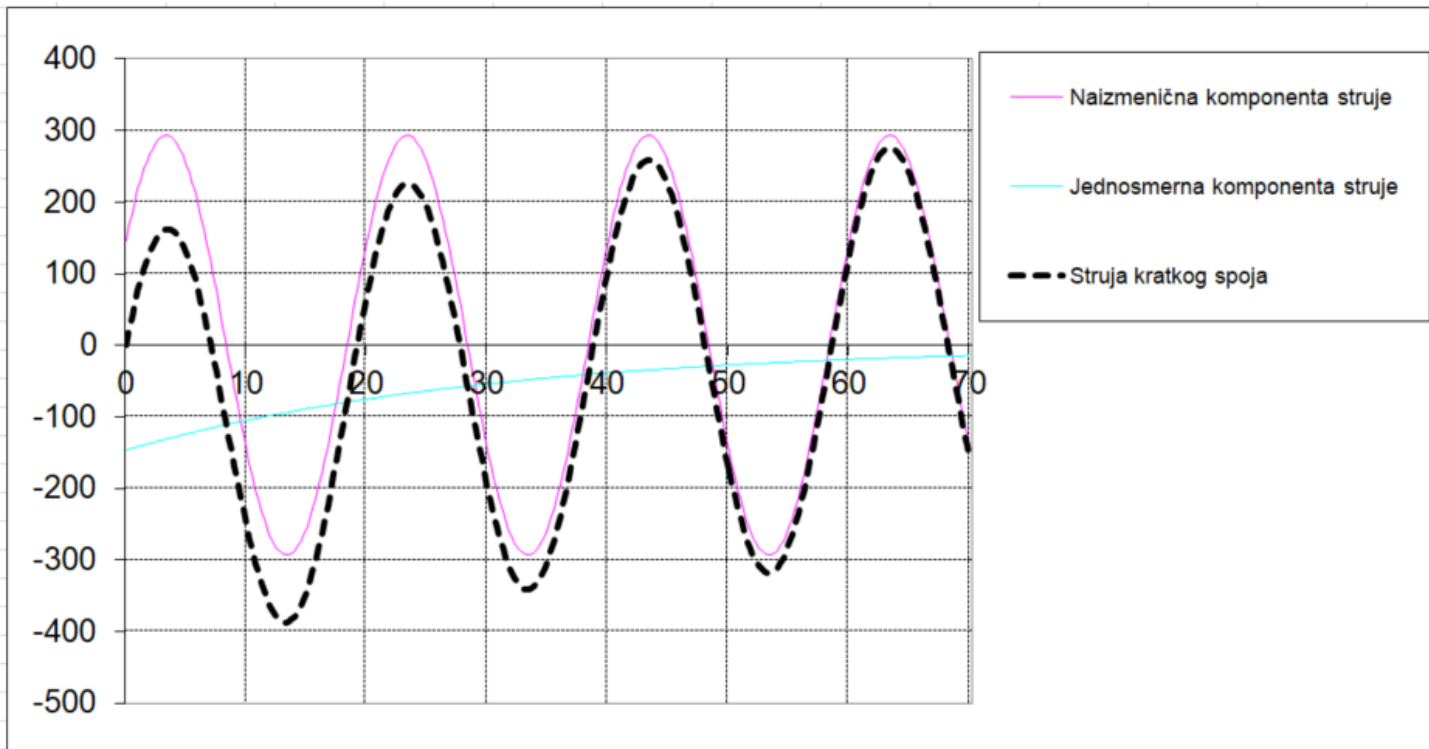
Израз за струју изједначења у секундарним намотајима износи:

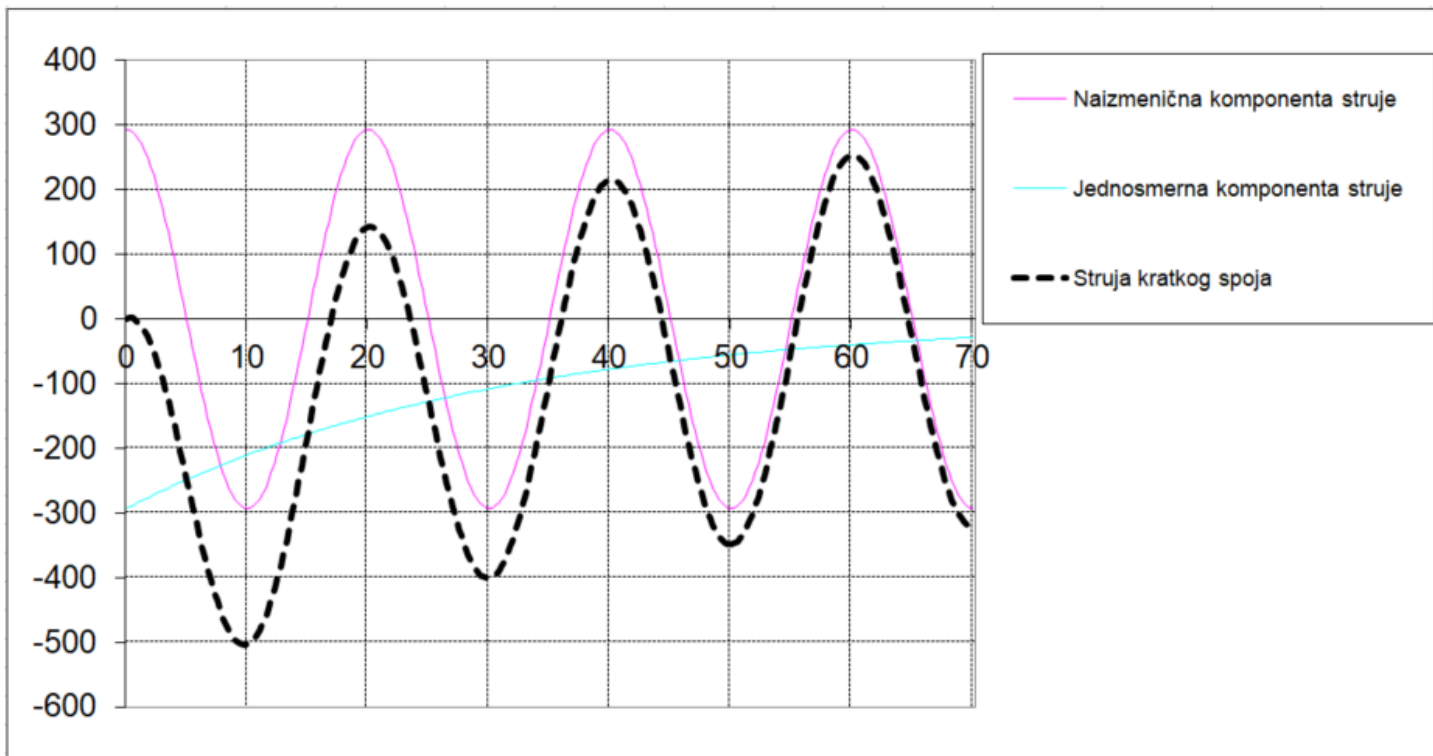
$$I_i = \frac{\Delta U}{\underline{Z}_{kI}'' + \underline{Z}_{kII}''} = \frac{2U_{02f} \sin 15^\circ}{\frac{u_{kI}}{100} \frac{U_{02f}}{I_{2nf}'} + \frac{u_{kII}}{100} \frac{U_{02f}}{I_{2nf}'}}$$

Након сређивања овог израза добија се израз за релативну струју изједначења сведену на струју првог трансформатора:

$$i_I = \frac{2 \cdot 100 \cdot \sin 15^\circ}{u_{kI} + u_{kII} \cdot \frac{S_{nI}}{S_{nII}}} = \frac{200 \cdot \sin 15^\circ}{6 + 5 \cdot \frac{1200}{1000}} = 4,3 \text{ p.j}$$

8.





9. Предавања, Поглавље 6, Слика 6.18 са пропратним текстом.

10. Номинална снага АТР износи:

$$S_a = S_T \frac{n_a}{n_a - 1} = 400 \cdot \frac{620/400}{620/400 - 1} = 400 \cdot \frac{1,55}{1,55 - 1} = 1127 \text{ kVA}$$

па је одатле процентуални напон кратког споја АТР:

$$u_{ka} = u_k \frac{S_n}{S_a} = 5 \cdot \frac{400}{1127} = 1,77 \%$$

Фактор снаге оптерећења при ком се има максимални пад напона на секундару АТР добија се диференцирањем упрошћене формуле за пад напона по углу  $\varphi$  и изједначењем извода са нулом:

$$\Delta u \approx a = \Delta u \approx a = u_r \cos \varphi + u_x \sin \varphi \Rightarrow \frac{d\Delta u}{d\varphi} = 0 \Rightarrow \operatorname{tg} \varphi = \operatorname{tg} \varphi_k = \frac{u_x}{u_r}$$

Пошто је максимално дозвољено преоптерећење АТР 30 %, добија се за максимални могући пад напона на крајевима АТР:

$$\Delta u_{max} = \beta_m (u_r \cos \varphi_k + u_x \sin \varphi_k) = \beta_m \frac{(u_r^2 + u_x^2)}{u_k} = \beta_m u_{ka} = 1,3 \cdot 1,77 = 2,3 \%$$

$$\Delta U_{max} = \frac{\Delta u_{max}}{100} \cdot U_{02} = \frac{2,3}{100} \cdot 400 = 9,2 \text{ V}$$

11. Пошто нулте струје могу да се успоставе и са примарне и са секундарне стране, очувана је једнакост магнетопобудних сила па је:

$$I_A = I_a, \quad I_B = I_b = 0, \quad I_C = I_c = 0,$$

$$\underline{U}_A - jX_k I_A = \underline{U}_a = 0 \Rightarrow \underline{I}_A = \frac{\underline{U}_A}{jX_k}$$

$$X_k = Z_k = 135,3 \Omega \Rightarrow \underline{I}_A = \frac{30 \cdot 10^3}{j135,3} = -j221,7 \text{ A}$$

$$\underline{I}_{Al} = \underline{I}_A - \underline{I}_C = -j221,7 \text{ A}$$

$$\underline{I}_{Bl} = \underline{I}_B - \underline{I}_A = j221,7 \text{ A}$$

$$\underline{I}_{Cl} = \underline{I}_C - \underline{I}_B = 0 \text{ A}$$