

1. Једнофазни трансформатор примарног напона 400 V, фреквенције 50 Hz има једностепени крстасти попречни пресек магнетског кола чије су димензије $a = 55\text{ mm}$ и $b = 35\text{ mm}$.
 - а) Израчунати површину пресека чистог гвожђа магнетског кола ако је за његову израду употребљен лим Nippon Steel Hi-B M-0H. Колико је повећање искоришћења површине круга према оном које се има при квадратном пресеку језгра?
 - б) Израчунати приближно број навојака примарног намотаја у случају крстастог као и у случају квадратног попречног пресека магнетског кола.
2. Једнофазни енергетски трансформатор снаге 40 kVA, примарног напона 4000 V, секундарног напона 220 V, 50 Hz ради при максималној вредности густине флукса $B_m = 1,25\text{ T}$. Средња дужина путање флукса кроз језгро је 1,4 m, а попречни пресек језгра $S_{Fe} = 160 \cdot 10^{-4}\text{ m}^2$. Половина хистерезисне петље дата је у следећој табели (за 50 Hz):

B[T]	0	0,3	0,6	0,8	1	1,1	1,2	1,25
H[A/m]	44	69	100	128	168	209	297	356
H[A/m]	-44	-17	15	48	109	162	275	356

Губици за дату учестаност и густину флукса (сразмерни површини хистерезисне петље) су 1,3 W/kg. Омски отпор примара и флукс расипања се могу занемарити.

- а) Израчунати број навојака примара и секундара;
 - б) Нацртати временски ток струје празног хода и њених компоненти. Израчунати ефективну вредност еквивалентног хармоничног таласа струје празног хода и њених компоненти (I_0 , I_a , I_μ);
 - в) Ако би се на саставцима језгра и јарма формирао ваздушни зазор укупне дужине δ_0 , показати квалитативно како ће се у том случају мењати флукс Φ и струја магнетског језгра I_μ , ако прикључени напон U и учестаност f остану непромењени.
3. Једнофазни енергетски трансформатор прикључен је на хармонични напон ефективне вредности $U_1 = 380\text{ V}$, 50 Hz. Максимална вредност индукције у језгру је 1,22 T, а маса језгра је 100 kg. Магнетске карактеристике (снага побуде и активни губици по килограму масе) дате су таблично за учестаност од 50 Hz:

B_m [T]	0,8	1	1,2	1,25	1,3	1,35	1,4
p_{Fe} [W/kg]	0,52	0,86	1,28	1,41	1,56	1,78	2,12
s_0 [VA/kg]	1,59	3,86	12,3	16,3	24,3	34	46

Израчунати:

- а) снагу губитака у гвожђу [W] и снагу побуде (празног хода) [VA];
- б) струју празног хода I_0 као и њене компоненте: струју губитака у гвожђу I_a и струју магнетског језгра I_μ ;
- в) Ако прикључени напон остане константан, а учестаност се повећа на 60 Hz, наћи нову снагу побуде усвајајући да је снага побуде сразмерна учестаности при константној густини флукса. Објаснити прерачунавање познате карактеристике снаге побуде за произвољну учестаност.
- г) Ако би се на примар трансформатора уместо задатог довео напон са правоугаоним таласним обликом основне учестаности 50 Hz, једнаких позитивних

и негативних полуталаса, амплитуде E [V], како би у том случају изгледао временски ток флукса. Одредити E [V] тако да максимална вредност флукса за оба напона буде иста.

4. Простопериодични напон ефективне вредности 200 V прикључен је на примарни намотај једнофазног трансформатора и даје флукс у језгру: $\varphi = 9 \cdot 10^{-3} \cos \omega t$ [Wb] и струју празног хода $i_0 = \sqrt{2} (\sin \omega t - 0,5 \sin 3\omega t + 5 \cos \omega t + 2 \cos 3\omega t)$ [A]. Уз занемарење омског отпора примара израчунати:
- ефективну вредност струје празног хода (I_0);
 - губитке у гвожђу (P_{Fe});
 - примљену реактивну снагу (Q_0).
5. Енергетски трансформатор снаге $S_n = 200$ kVA, примарног напона $U_{1n} = 10$ kV, фреквенције 50 Hz испитиван је у огледу празног хода при чему је измерено:

оглед	U [kV]	f [Hz]	P ₀ [W]
I	10	50	960
II	11,5	60	1171

- Уз занемарење омског отпора примара одредити губитке услед хистерезиса и вихорних струја при номиналном напону и учестаности ако је Штајнмицов коефицијент $n = 1,7$.
 - Одредити процентуалну промену губитака услед хистерезиса и вихорних струја ако се простопериодичан напон 10 kV, 50 Hz замени напонам правоугаоног таласног облика исте ефективне вредности и учестаности.
6. На примар једнофазног енергетског трансформатора са $N_1 = 500$ навојака занемарљивог омског отпора прикључен је наизменичан напон $u_1 = (1500 \sin \omega t + 500 \sin 3\omega t)$ [V], $\omega = 2\pi f$, $f = 50$ Hz. Штајнмицов коефицијент износи $n = 1,7$.
- Извести израз за флукс и наћи његову максималну вредност.
 - Израчунати процентуалну промену снаге губитака услед хистерезиса и услед вихорних струја ако се напон промени на $u_1 = 1500 \sin \omega t$ [V].
7. Једнофазни енергетски трансформатор снаге $S_n = 50$ kVA, напона $U_1/U_2 = 230/115$ V испитиван је у огледима празног хода и кратког споја при чему је измерено:

$$\text{ПХ: } U_{01} = 230 \text{ V, } P_0 = 320 \text{ W, } I_{01} = 9,8 \text{ A}$$

$$\text{КС: } I_k = I_{1n}, U_{k1} = 9,2 \text{ V, } P_k = 600 \text{ W}$$

Одредити:

- Параметре еквивалентног заменског кола трансформатора са примарне и секундарне стране.
- Релативне вредности струје празног хода и напона кратког споја.
- Релативне грешке настале занемаривањем губитака у бакру у огледу празног хода и губитака у гвожђу у огледу кратког споја.

8. Испитивањем трофазног енергетског трансформатора снаге $S_n = 600 \text{ kVA}$, напона $U_1/U_{02} = 11000/660 \text{ V}$, спреге Yd , измерено је:

ПХ: 660 V ; 16 A ; $4,8 \text{ kW}$ (НН страна)

КС: 500 V ; 30 A ; $8,2 \text{ kW}$ (ВН страна)

а) Одредити параметре еквивалентног електричног кола са примарне стране.

б) Одредити Филдов сачинилац ако су отпори намотаја измерени једносмерном струјом $R_1 = 3,2 \Omega$ и $R_2 = 9,3 \text{ m}\Omega$. Сматрати да је филдов сачинилац исти за оба намотаја.

9. Трофазни енергетски трансформатор снаге $S_n = 25 \text{ kVA}$, напона $U_1/U_{02} = 380/220 \text{ V}$, спреге $Dyn5$, испитиван је у огледима празног хода и кратког споја при чему је добијено $P_k = 600 \text{ W}$, $u_k = 4,5 \%$, $j_0 = 4 \%$, $\cos\varphi_0 = 0,2$. Одредити параметре еквивалентног кола са ВН стране и нацртати га са унетим свим бројним вредностима параметара и електричним величинама.

10. Трофазни уљни трансформатор снаге $S_n = 250 \text{ kVA}$, напона $U_1/U_{02} = 20/0,42 \text{ kV}$, спреге $Yzn5$, испитиван је у огледима празног хода и кратког споја при чему је добијено:

КС: $P_k = 3250 \text{ W}$, $u_k = 4 \%$, $I_k = I_n \text{ A}$

ПХ: $P_0 = 650 \text{ W}$, $j_0 = 2,4 \%$, $U_0 = U_n$

Израчунати параметре еквивалентног заменског кола са НН стране и нацртати га са уписаним свим бројним вредностима параметара и електричним величинама.

11. Енергетски трансформатор за 50 Hz има цилиндричне намотаје примара и секундара висине $h = 0,3 \text{ m}$, пречник средњег навојка примара и секундара $D_m = 0,2 \text{ m}$, ширину намотаја примара $a = 20 \text{ mm}$, ширину намотаја секундара $b = 30 \text{ mm}$, ширину међупростора између намотаја $\delta = 10 \text{ mm}$ и број навојака примара $N_1 = 600$. Израчунати коефицијент Роговског и реактансу расипања трансформатора са примарне стране.

12. На трансформатору са подацима $S_n = 1600 \text{ kVA}$, $U_1/U_{02} = 10/0,4 \text{ kV}$, спрега Yy $u_k = 6 \%$, измерено је у огледу празног хода $P_{0n} = 3 \text{ kW}$, а у огледу кратког споја са номиналном струјом $P_{k20^\circ} = 15 \text{ kW}$ и отпори фаза $R_1^{20^\circ} = 0,3 \Omega$ и $R_2^{20^\circ} = 0,0004 \Omega$.

а) Колики ће бити губици у бакру на референтној температури $\vartheta = 75^\circ\text{C}$?

б) Одредити степен искоришћења снаге при пуном оптерећењу и 50% од пуног оптерећења за чисто активно оптерећење и при фактору снаге $\cos\varphi = 0,8$ (инд. или кап.).

в) Одредити вредност и врсту оптерећења при коме трансформатор има максимални степен искоришћења снаге.

г) Наћи процентуалну промену напона секундара и стварни напон секундара за 50% од пуног оптерећења за чисто активно оптерећење и при фактору снаге $\cos\varphi = 0,8$ (инд. или кап.).

д) Одредити фактор снаге номинално оптерећеног трансформатора при коме настаје: 1) максимално снижење напона секундара; 2) нема промене напона секундара; 3) максимално повишење напона секундара.

13. За трофазни трансформатор са подацима из задатка 8. ($S_n = 25 \text{ kVA}$, $U_1/U_2 = 380/220 \text{ V}$, спрега $Dyn5$, $P_k = 600 \text{ W}$, $u_k = 4,5 \%$) израчунати напон секундара при омско-индуктивном и омско-капацитивном преоптерећењу од 25 % ако је фактор снаге оптерећења у оба случаја $\cos\phi = 0,707$.
14. За трофазни уљни трансформатор са подацима из задатка 9. ($S_n = 250 \text{ kVA}$, $U_1/U_2 = 20/0,42 \text{ kV}$, $P_k = 3250 \text{ W}$, $u_k = 4 \%$, $P_0 = 650 \text{ W}$) израчунати степен искоришћења снаге и потребан напон примара да би се на секундару имао напон номиналне вредности када су прикључени потрошачи:
- 1) мотор који троши 250 kVA при $\cos\phi = 0,8$ и који је везан у троугао паралелно са три групе кондензатора од по $C = 2708 \mu\text{F}$ везаних у звезду.
 - 2) само кондензаторске групе.
15. Показати шематски везе намотаја трофазних трансформатора да би се добиле спреге $Dy5$, $Yd1$, $Yz1$. Како треба повезати примаре и секундаре да би ови трансформатори радили паралелно?
16. Трофазни трансформатор снаге $S_n = 400 \text{ kVA}$ има временску константу загревања $T = 4 \text{ h}$, средњи пораст температуре после једночасовног рада са номиналним оптерећењем $\theta_1 = 14 \text{ K}$ и максимални степен искоришћења снаге при оптерећењу $S_m = 320 \text{ kVA}$.
- Напомена: Трансформатор третирати као хомогено тело ($\theta_{Cu} = \theta_u = \theta_{Fe}$).
- а) Одредити средњи пораст температуре после 10 h рада са номиналним оптерећењем ако је трансформатор пре оптерећења имао температуру амбијента ($\vartheta_0 = \vartheta_a$).
 - б) Коју класу изолације има задати трансформатор?
 - в) Ако је трансформатор достигао своју граничну температуру и искључи се са мреже, одредити потребно време да би се охладио.
 - г) Одредити вредност оптерећења којим се постиже гранични номинални средњи пораст температуре намотаја после $t = 4 \text{ h}$ рада ако је $\vartheta_0 = \vartheta_a$.
17. Одредити приближно промену граничне температуре трансформатора који има сличну конструкцију као трансформатор из претходног задатка али коме су све линеарне димензије $\sqrt{2}$ пута веће. Којим параметрима се постиже исти гранични пораст температуре за оба трансформатора? Одредити приближно однос номиналних снага и тежина ова два трансформатора.
18. Трофазни уљни дистрибутивни трансформатор има номиналне губитке: $P_0 = 2100$, $P_k = 13000 \text{ W}$ и термичку временску константу као хомогено тело 2h. Трансформатор је достигао температуру устаљеног стања при оптерећењу од $0,5S_n$, када му се прикључи додатно оптерећење од $0,7S_n$. Колико дуго може радити са оваквим оптерећењем, а да не прекорачи максимални дозвољени пораст температуре?

19. Енергетски трансформатор снаге $S_n = 250 \text{ kVA}$, напона $U_1/U_{02} = 10/0,4 \text{ kV}$, спреге Yy , има губитке празног хода $P_0 = 1 \text{ kW}$, губитке кратког споја $P_k = 4 \text{ kW}$, релативну струју празног хода $j_0 = 5 \%$ и релативни напон кратког споја $u_k = 5 \%$. Одредити:

- Устаљену струју трофазног кратког споја?
- Критичну вредност струје кратког споја?
- Време и број протеклих периода за које ће једносмерна-апериодична компонента струје кратког споја опасти на 5% своје почетне вредности.
- Време и број протеклих периода за које ће једносмерна-апериодична компонента струје празног хода при укључењу трансформатора на мрежу опасти на 5% своје почетне вредности.
- Ако се зависност флукса од струје празног хода може приближно представити преко израза:

$$\Phi = \begin{cases} 20(\Phi_m - \Phi_r)i_0 + \Phi_r, & i_0 \leq 0,05 \\ \frac{\Phi_m}{39}(38 + 20i_0), & i_0 > 0,05 \end{cases}$$

одредити највећу тренутну вредност (критичну вредност) струје укључења трансформатора у празан ход ако је заостали флукс $\Phi_r = 0,1\Phi_m$.

20. При пројектовању трофазног енергетског трансформатора за 10 MVA , $U_1 = 110 \text{ kV}$, добијени су следећи електрични и конструкцијски параметри: $u_k = 10,5 \%$, $P_{\text{Cun}} = 75 \text{ kW}$, $J = 3 \text{ A/mm}^2$, $N_1 = 1480$, пречник језгра $D_0 = 48 \text{ cm}$, средњи пречник секундара $D_2 = 57 \text{ cm}$, ширина секундара $6,5 \text{ cm}$, средњи пречник примара $D_1 = 79 \text{ cm}$, ширина примара $3,2 \text{ cm}$, висина примара и секундара $h = 1,28 \text{ m}$, растојање(ззор) између примара и секундара $\delta = 6 \text{ cm}$, намотаји су у облику колутова.

- Одредити приближно силу кидања која делује на проводник примара и утврдити да ли је напрезање у дозвољеним границама при појави трополног кратког споја у најнеповољнијем тренутку.
- Утврдити да ли се вертикално учвршћење колутова примара и секундара може извести са по 16 одстојника између колутова ширине $s = 4 \text{ cm}$ ако се за овакав тип трансформатора укупна аксијална сила између унутрашњег и спољашњег намотаја распоређује у односу 1:3.

21. Колика је максимална вредност напона који се јавља у намотају примара трансформатора спреге $Yd5$ при наиласку пренапонског таласа амплитуде 2 MV ? Висина намотаја је 650 mm , а корен карактеристичне једначине за израчунавање расподеле пренапона је $\alpha = 5$. Која су критична места у погледу изолације и зашто?

22. Номиналне снаге и релативни напони кратког споја три трансформатора који треба да раде паралелно су:

$$S_{n1} = 100 \text{ kVA} \quad u_{k1} = 4\%$$

$$S_{n2} = 200 \text{ kVA} \quad u_{k2} = 5\%$$

$$S_{n3} = 300 \text{ kVA} \quad u_{k3} = 6\%$$

Ако је укупно оптерећење $S = \Sigma S_n = 600 \text{ kVA}$, одредити појединачне снаге трансформатора. Колико износи укупно дозвољено оптерећење да у трајном раду ниједан трансформатор не буде преоптерећен?

23. Два трансформатора који треба да раде паралелно имају следеће податке:

ТРАНСФОРМАТОР	I	II
I_{2n} – номинална струја секундара	200 А	600 А
r_k – јединични омски отпор	0,02 r.j.	0,025 r.j.
X_k – јединична реактанса	0,05 r.j.	0,06 r.j.
U_{02} – напон празног хода секундара	245 V	240 V

Одредити заједнички напон, укупну струју и појединачне струје трансформатора ако прикључени потрошач има импедансу $z = (0,25 + j0,1)\Omega$. Колико је преоптерећење у процентима појединих трансформатора? Шта ће бити са струјама и напоном ако се оптерећење искључи?

24. Два трофазна трансформатора напона $U_1/U_{02} = 6600/440$ V, номиналних снага $S_{n1} = 250$ kVA и $S_{n2} = 600$ kVA и напона кратких спојева $u_{k1} = 5$ %, $\cos\phi_{k1} = 0,23$ и $u_{k2} = 4$ %, $\cos\phi_{k2} = 0,16$ раде паралелно. Како ће се расподелити укупно оптерећење од 680 kW при $\cos\phi = 0,8$ инд. и колики ће бити напон секундара?
25. Трансформатор спреге Yd1 има примарне линијске напоне сведене на секундарну страну $U_{AB} = 200$ V, $U_{BC} = 250$ V, $U_{CA} = 200$ V. На секундарне крајеве а – b прикључен је потрошач који троши струју $I_{bL} = 10$ А. Одредити примарне фазне напоне и струје сведене на секундар.
26. Известити изразе за фазне струје трансформатора спреге Dyn11 за општи случај несиметричног трофазног оптерећења. Колики су струје и напони секундара у случају једнофазног кратког споја са земљом на секундарној страни?
27. Израчунати струју секундара и напоне примара трансформатора спреге Yyn при једнофазном кратком споју са земљом на секундарној страни. Нацртати и одговарајући векторски дијаграм напона.
28. На трофазни трансформатор снаге $S_n = 100$ kVA, напона $U_1/U_{02} = 6000/400$ V, спреге Yyn0, прикључена је једнофазна електрична пећ снаге $P = 30$ kW ($\cos\phi = 1$). Колике ће бити струје појединих фаза примара?
29. Трансформатор спојен у Скотовој спрези напона $3 \times 11000V/2 \times 100V$ оптерећен је на двофазној страни снагама $P_a = P_b = 200$ kW при $\cos\phi_a = 1$ и $\cos\phi_b = 0,8$. Ако је број навојака на примарној трофазној страни $N_1 = 3200$, одредити уз занемарење струје празног хода:
- број навојака намотаја на двофазној страни и место где треба евентуално извући нулти проводник;
 - струје на примарној страни;
 - Како се може добити четворофазни уравнотежени систем напона?
30. Једнофазни енергетски трансформатор снаге $S_n = 50$ kVA, напона $U_1/U_{02} = 2400/240$ V везан је као аутотрансформатор за мрежу $U_{1a} = 2640$ V, а напаја мрежу напона 2400 V. Испитан као двонамотајни трансформатор имао је губитке $P_{Fe} = 186$ W и $P_{Cun} = 617$ W. Потребно је одредити:
- Номиналну снагу аутотрансформатора;
 - Струје трансформатора и аутотрансформатора;

- в) Степен искоришћења трансформатора и аутотрансформатора при номиналном оптерећењу и $\cos\varphi = 0,8$ инд;
- г) Промену напона аутотрансформатора за пуно оптерећење и $\cos\varphi = 0,8$ инд. ако је напон кратког споја аутотрансформатора $u_{ka} = 0,4$ %;
- д) Колики је однос напона кратког споја трансформатора и аутотрансформатора?
- ђ) Ако аутотрансформатор напона 2640/2400 V заменимо обичним двонамотајним трансформатором са галвански одвојеним намотајима истих напона и снаге и сличне конструкције одредити однос њихових тежина ако је B_m и J остало константно и ако је тежина задатог једнофазног трансформатора 0,4t.

- 31.** За које снаге и напоне се може формирати аутотрансформатор спреге Yy превезивањем намотаја обичног трофазног трансформатора снаге $S_n = 600$ kVA, напона $U_1/U_{02} = 11000/660$ V, спреге Yd . Која је варијанта повољнија и због чега? Колико износи степен искоришћења снаге повољније варијанте ако обични трансформатор има максимални степен искоришћења снаге при 50% номиналне снаге?
- 32.** Потрошач једносмерне струје се напаја преко једнофазне мостне спреге (Греца) при чему дозвољена валовитост струје износи $\beta = 0,25$. Ако је струја потрошача $I_d = 40$ A, а напон $U_d = 30$ V, одредити приближно потребну вредност L_d редно везане пригушнице, број навојака, укупан зазор δ и пресек магнетског кола. Прорачун извести уз занемарење омских отпора и засићења ($B_m < 1,7$ T) и сматрајући да је пермеабилност гвожђа бесконачна.