

РЈЕШЕЊА ЗАДАТАКА СА ТАКМИЧЕЊА ИЗ ЕЛЕКТРИЧНИХ МАШИНА

Електријада 2004

ТРАНСФОРМАТОРИ

Трофазни енергетски трансформатор $100kVA$ има напон и реактансу кратког споја $u_k = 4\%$ и $x_k = 3\%$ респективно. При номиналном оптерећењу и фактору снаге $\cos \varphi = 0,8$ трансформатор има степен корисног дејства $\eta_n = 0,95$ и пораст температуре (надтемпературу) $\vartheta_m = 90^\circ C$. У раду је трансформатор преоптерећен, па је пораст температуре у устаљеном стању $\vartheta_{m1} = 120^\circ C$. Ради растерећења паралелно са њиме везује се трансформатор снаге $50kVA$ истог преносног односа и исте спреге. Потребно је одредити напон кратког споја другог трансформатора да би први трансформатор био номинално оптерећен, те оптерећење другог трансформатора.

РЈЕШЕЊЕ

Номинални губици у трансформатору су:

$$\sum P_{gn} = P_{Cun} + P_{Fen} = \frac{1-\eta}{\eta} S_n \cos \varphi_n = \frac{1-0,95}{0,95} 100 \cdot 10^3 \cdot 0,8 = 4,21kW .$$

Знајући да је $u_k[\%] = z_k[\%] = \sqrt{r_k^2[\%] + x_k^2[\%]}$, отпор кратког споја је:

$$r_k[\%] = \sqrt{u_k^2[\%] - x_k^2[\%]} = \sqrt{4^2 - 3^2} = 2,646\% , \text{ па је}$$

$$P_{Cun} = \frac{r_k[\%]}{100} S_n = \frac{2,646}{100} 100 \cdot 10^3 = 2,646kW ,$$

а номинални губици у гвожђу су:

$$P_{Fen} = \sum P_{gn} - P_{Cun} = 4210 - 2646 = 1,564kW .$$

Максимални пораст температуре (надтемпература) пропорционалан је губицима:

$$\vartheta_m \sim P_{Cu} + P_{Fe} , \text{ па је}$$

$$\vartheta_{mX} = \vartheta_{m1} \frac{P_{CuX} + P_{Fen}}{P_{Cun} + P_{Fen}} , \text{ одакле је}$$

$$P_{CuX} = \frac{\vartheta_{mX}}{\vartheta_{m1}} (P_{Cun} + P_{Fen}) - P_{Fen} = \frac{120}{90} (2646 + 1564) - 1564 = 4,05kW .$$

Пошто је $P_{Cu} \sim I^2$, биће

$$I_X = I_n \sqrt{\frac{P_{CuX}}{P_{Cun}}} = I_n \sqrt{\frac{4050}{2646}} = 1,24 I_n , \text{ односно снага трансформатора је}$$

$$S_X = 1,24 \cdot S_n = 1,24 \cdot 100 \cdot 10^3 = 124kVA .$$

Да први трансформатор не би био преоптерећен ($S_1 = S_{n1} = 100kVA$), други треба да преузме снагу

$$S_2 = S_X - S_n = (124 - 100)kVA = 24kVA .$$

Из познатог израза за расподјелу оптерећења паралелно везаних трансформатора:

$$S_2 = \frac{S_{uk}}{u_{k2} \left(\frac{S_{n1}}{u_{k1}} + \frac{S_{n2}}{u_{k2}} \right)} \cdot S_{n2}, \text{ гдје је } S_{uk} = S_x \text{ укупно оптерећење, добија се:}$$

$$u_{k2} = \frac{S_{n2}}{S_{n1}} \frac{S_{uk} - S_2}{S_2} u_{k1} = \frac{50}{100} \frac{124 - 24}{24} \cdot 4 = 8,33\% .$$

МАШИНЕ ЈЕДНОСМЈЕРНЕ СТРУЈЕ

Генератор једносмјерне струје са паралелном побудом има следеће податке: $14,8kW$, $400V$ $850o/min$, $R_a = 0,25\Omega$, пад напона на четкицама $2V$. Отпор побуде износи 200Ω . Сматрајући магнетно коло линеарним, одредити колики отпорник треба везати на ред са побудом да би генератор у мрежу давао снагу од $10kW$ при номиналном напону и брзини од $1000o/min$.

РЈЕШЕЊЕ

Номинална струја генератора и номинална струја побуде су

$$I_n = \frac{P_n}{U_{an}} = \frac{14,8 \cdot 10^3}{400} = 37A,$$

$$I_{pn} = \frac{U_{an}}{R_p} = \frac{400}{200} = 2A,$$

а номинална струја индукта и номинална електромоторна сила су:

$$I_{an} = I + I_{pn} = 37 + 2 = 39A,$$

$$E_n = U_{an} + R_a I_{an} + \Delta U_{Cet} = 400 + 0,25 \cdot 39 + 2 = 411,75V$$

Када генератор даје снагу $10kW$ при номиналном напону, његова струја је

$$I_1 = \frac{P_{el}}{U_{an}} = \frac{10 \cdot 10^3}{400} = 25A.$$

а струја индукта:

$$I_{a1} = I_1 + I_{p1}. \quad (1)$$

Нова електромоторна сила је

$$E_1 = U_{an} + R_a I_{a1} + \Delta U_{Cet}. \quad (2)$$

Пошто је магнетно коло линеарно, важи

$$E_n \sim I_{pn} n_n$$

$$E_1 \sim I_{p1} n_1, \text{ па је}$$

$$E_1 = \frac{I_{p1} n_1}{I_{pn} n_n} E_n \quad (3)$$

Из (1), (2) и (3) добија се:

$$I_{p1} = \frac{R_a I_1 + U_a + \Delta U_{Cet}}{(n_1 E_n) / (I_{pn} n_n) - R_a} = \frac{0,25 \cdot 25 + 400 + 2}{(1000 \cdot 411,75) / (2 \cdot 850) - 0,25} = 1,687A.$$

Када се дода отпорник R_d у коло побуде биће

$$U_a = (R_p + R_d) I_{p1}, \text{ одакле је}$$

$$R_d = \frac{U_a}{I_{p1}} - R_p = \frac{400}{1,687} - 200 = 37\Omega.$$

АСИНХРОНЕ МАШИНЕ

Трофазни асинхрони мотор има следеће податке $380V$, $50Hz$, спрега Y , отпор статора по фази износи 3Ω . Мотор је испитан огледом кратког споја у спрези Y при линијском напону $110V$ учестаности $40Hz$, те су измјерени снага кратког споја $500W$, струја $5A$ и момент укоченог ротора $2,15Nm$. Магнетно коло може се сматрати линеарним.

Потребно је одредити превални (максимални, прекретни) момент при номиналном напајању.

РЈЕШЕЊЕ

Импеданса и фактор снаге кратког споја мотора су

$$Z_k = \frac{U_k}{I_k} = \frac{110/\sqrt{3}}{5} = 12,7\Omega,$$

$$\cos \varphi_k = \frac{P_k}{\sqrt{3}V_k I_k} = \frac{500}{\sqrt{3} \cdot 110 \cdot 5} = 0,52$$

па су отпор и реактанса у огледу кратког споја

$$R_k = Z_k \cos \varphi_k = 12,7 \cdot 0,52 = 6,6\Omega,$$

$$X_k = Z_k \sin \varphi_k = 12,7 \cdot 0,854 = 10,85\Omega.$$

При номиналној учестаности реактанса кратког споја је

$$X_{kn} = X_k \frac{f_n}{f} = 10,85 \frac{50}{40} = 13,56\Omega,$$

а отпор ротора сведен на статор

$$R_r' = R_k - R_s = 6,6 - 3 = 3,6\Omega.$$

Полазни момент (момент кратког споја) добија се из:

$$M = \frac{3p}{\omega_s} U_f^2 \frac{R_r' / s}{(R_s + R_r' / s)^2 + X_k^2} \text{ за } s = 1, \omega_s = 2\pi \cdot 40, U_f = 110/\sqrt{3} \text{ одакле је}$$

$$p = \frac{M_{pol} \omega_s (R_k^2 + X_k^2)}{3U_f^2 R_r'} = \frac{2,15 \cdot 2\pi \cdot 40 (6,6^2 + 10,85^2)}{3 \cdot (110/\sqrt{3})^2 \cdot 3,6} \approx 2.$$

Превално клизање при номиналној учестаности рачуна се из:

$$s_{pm} = \frac{R_r'}{\sqrt{R_s^2 + X_{kn}^2}} = \frac{3,6}{\sqrt{3^2 + 13,56^2}} = 0,259 = 25,9\%.$$

Номинални превални момент добија се из

$$M = \frac{3p}{\omega_s} U_f^2 \frac{R_r' / s}{(R_s + R_r' / s)^2 + X_k^2} \text{ за } s = s_{pr}, \omega_s = 2\pi \cdot 50, U_f = 380/\sqrt{3} \text{ одакле је}$$

$$M_{pm} = \frac{3p}{\omega_s} U_f^2 \frac{R_r' / s}{(R_s + R_r' / s)^2 + X_{kn}^2} = \frac{3 \cdot 2}{2\pi \cdot 50} 220^2 \frac{3,6/0,259}{(3 + 3,6/0,259)^2 + 13,56^2} = 27,38Nm$$

СИНХРОНЕ МАШИНЕ

Трофазни синхрони генератор са цилиндричним ротором има податке: $25MVA$, $20kV$, $50Hz$, спрега Y . Отпор статора може се занемарити. Генератор ради на крутој мрежи номиналног напона и учестаности.

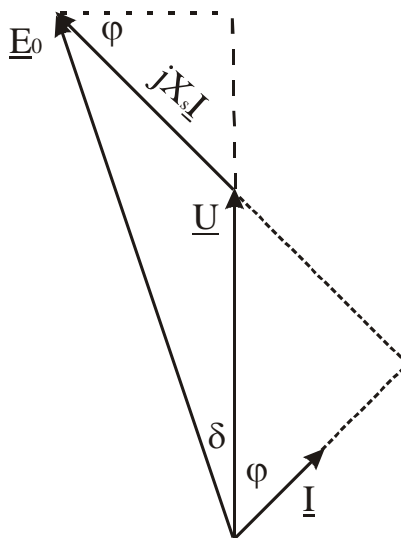
Карактеристика празног хода (фазна електромоторна сила у функцији струје побуде) снимљена је при номиналној брзини и представљена следећом табелом:

$I_p [A]$	20	50	80	100	120	140	160	180	200
$E_{0f} [kV]$	1,73	8,53	16,90	18,48	20,13	21,46	22,53	23,33	24

Када је струја побуде $100A$ генератор у мрежу испоручује номиналну струју уз индуктивни фактор снаге $\cos \varphi = 0,8$. Колика треба да буде струја побуде да би генератор у мрежу испоручивао исту активну снагу уз фактор снаге $\cos \varphi = 1$?

РЈЕШЕЊЕ

Из номиналних података генератора потребно је прво одредити синхрону реактансу. Једначина напонске равнотеже синхронног надпобуђеног генератора је $\underline{E}_0 = \underline{U} + jX_s I_s$, а фазорски дијаграм приказан је на следећој слици:



Номинални фазни напон и струја генератора су:

$$U_{fn} = \frac{V_n}{\sqrt{3}} = \frac{20 \cdot 10^3}{\sqrt{3}} = 11,55kV, \quad I_n = \frac{S_n}{\sqrt{3} \cdot V_n} = \frac{25 \cdot 10^6}{\sqrt{3} \cdot 20 \cdot 10^3} = 721,69A.$$

Активна снага коју генератор испоручује у номиналном режиму је:

$$P_n = S_n \cos \varphi_n = 25 \cdot 10^6 \cdot 0,8 = 20MW.$$

Струји побуде од $100A$ из табеле одговара фазна вриједност електромоторне силе $E_{0fn} = 18,48kV$.

На основу фазорског дијаграма пишу се следеће једначине у номиналном режиму:

$$E_{0n} \sin(\varphi_n + \delta_n) = U_n \sin \varphi_n + X_{sn} I_n$$

$$E_{0n} \cos(\varphi_n + \delta_n) = U_n \cos \varphi_n,$$

одакле је у номиналном режиму:

$$\cos(\varphi_n + \delta_n) = \frac{U_n \cos \varphi_n}{E_{0n}} = \frac{11,55 \cdot 10^3 \cdot 0,8}{18,48 \cdot 10^3} = 0,5, \text{ па је}$$

$$\varphi_n + \delta_n = 60^\circ, \text{ односно } \delta_n = 60^\circ - \arccos 0,8 = 23,13^\circ.$$

Синхрона реактанса је

$$X_{sn} = \frac{E_{0n} \sin(\varphi_n + \delta_n) - U_n \sin \varphi_n}{I_n} = \frac{18,48 \cdot 10^3 \sin 60^\circ - 11,55 \cdot 10^3 \cdot 0,6}{721,69} = 12,57 \Omega.$$

Да би генератор испоручивао $P_1 = P_n = 20 \text{ MW}$ при $\cos \varphi_1 = 1$ потребно је да струја генератора буде:

$$I_1 = \frac{P_1}{\sqrt{3} V_n \cos \varphi_1} = \frac{20 \cdot 10^6}{\sqrt{3} \cdot 20 \cdot 10^3 \cdot 1} = 577,35 \text{ A}.$$

Пошто је у овом режиму $\varphi = 0^\circ$, троугао са слике је правоугли, па је:

$$E_{0f1} = \sqrt{U_f^2 + (X_s I_1)^2} = \sqrt{(11,55 \cdot 10^3)^2 + (12,57 \cdot 577,35)^2} = 13,625 \text{ kV}$$

Фазној вриједности електромоторне силе од $E_{0f1} = 13,58 \text{ kV}$ одговара струја побуде $50 \text{ A} < I_{p1} < 80 \text{ A}$. Линеарном интерполацијом криве магнећења између тачака $(50 \text{ A}, 8,53 \text{ kV})$ и $(80 \text{ A}, 16,90 \text{ kV})$ можемо одредити потребну струју побуде за $E_{0f1} = 13,625 \text{ kV}$:

$$(E_{0f1} - 8,53 \cdot 10^3) = \frac{16,9 \cdot 10^3 - 8,53 \cdot 10^3}{80 - 50} (I_{p1} - 50),$$

одакле је нова струја побуде

$$I_{p1} = 68,26 \text{ A}.$$