

# РЈЕШЕЊА ЗАДАТАКА СА ТАКМИЧЕЊА ИЗ ЕЛЕКТРИЧНИХ МАШИНА

Електријада 2003

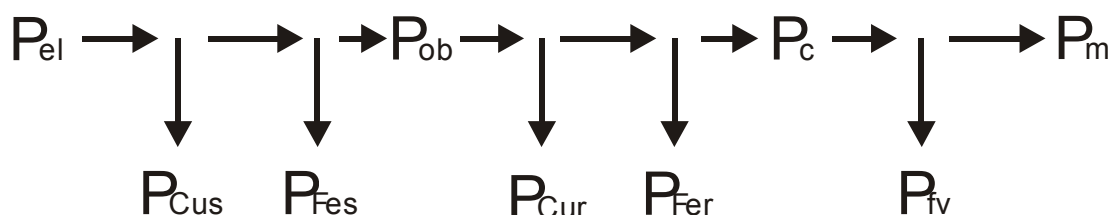
## АСИНХРОНЕ МАШИНЕ

Трофазни асинхронни мотор са намотаним ротором има податке:  $380V$ ,  $10A$ ,  $\cos \varphi = 0,8$ ,  $Y$ ,  $50Hz$ ,  $p = 2$ , отпор статора  $R_s = 2,2\Omega$ . Мотор је испитан у празном ходу (напајање са стране статора, ротор кратко спојен), те је измјерена снага  $350W$  и струја статора  $3A$ . Губици на трење и вентилацију износе  $50W$  и сматрају се константним. Отпор роторског кола износи  $R_r = 1\Omega$ , а преносни однос струја статор/ротор је  $I_s / I_r = 0,85$ .

Одредити брзину обртања вратила мотора, ако је струја статора номинална.

## РЈЕШЕЊЕ

За рјешавање задатка неопходно је одредити структуру губитака мотора у номиналном режиму. Структура губитака приказана је на слици:



У огледу празног хода може се писати једначина:

$$P_{el} = P_{Fes} + P_{Cus0} + P_{fv} = P_{Fes} + 3R_s I_{0s}^2 + P_{fv}$$

Односно:

$$P_{Fes} = P_{el} - 3R_s I_{0s}^2 - P_{fv} = 350 - 3 \cdot 2,2 \cdot 3^2 - 50 = 240,6W$$

Улазна (електрична) снага у номиналном режиму је:

$$P_{el} = \sqrt{3} \cdot V \cdot I \cdot \cos \varphi = \sqrt{3} \cdot 380 \cdot 10 \cdot 0,8 = 5,265kW$$

Губици у баку статора и ротора при номиналној струји статора су:

$$P_{Cusn} = 3R_s I_{sn}^2 = 3 \cdot 2,2 \cdot 10^2 = 660W$$

$$P_{Curn} = 3R_r I_{rn}^2 = 3R_r \left( I_{sn} \frac{I_r}{I_s} \right)^2 = 3 \cdot 1 \cdot \left( 10 \cdot \frac{1}{0,85} \right)^2 = 415,25W$$

Снага обртног поља је:

$$P_{obn} = P_{eln} - P_{Cusn} - P_{Fes} = 5265 - 660 - 240,6 = 4,364kW$$

Пошто је

$$P_{Curn} = s_n \cdot P_{obn}$$

номинално клизање је:

$$s_n = \frac{P_{Curn}}{P_{obn}} = \frac{415,25}{4364} = 0,095$$

па је номинална брзина обртања:

$$n_n = n_s (1 - s_n) = 1500(1 - 0,095) = 1357,50 / \text{min}$$

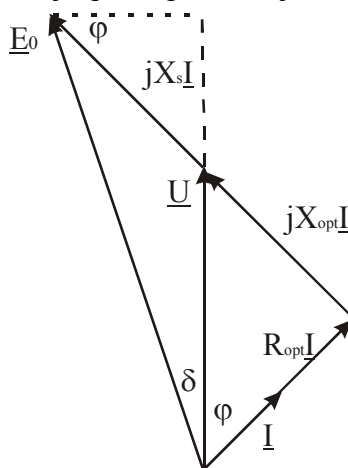
## СИНХРОНЕ МАШИНЕ

Трофазни синхронни генератор са цилиндричним ротором има следеће номиналне податке:  $10kVA$ ,  $Y$ ,  $\cos \varphi = 0,8$ ,  $400V$ ,  $1500o/min$ ,  $50Hz$ . Синхрона реактанса је  $2\Omega$ , док се омски отпори намотаја, губици у гвожђу, трење и вентилација занемарују. Струја побуде се одржава на номиналној вриједности, а магнетно коло је линеарно.

Генератор ради на пасивној мрежи импедансе  $R = 50\Omega$ ,  $L = 0,15H$  при брзини обртања од  $1300o/min$ . Потребно је одредити активну и реактивну снагу коју генератор даје у мрежу у овом режиму (струја побуде је номинална).

### РЈЕШЕЊЕ

Једначина напонске равнотеже синхроног надпобуђеног генератора је  $\underline{E}_0 = \underline{U} + jX_s I_s$ , а фазорски дијаграм приказан је на следећој слици:



Номинална струја генератора је:

$$I_n = \frac{S_n}{\sqrt{3} \cdot V_n} = \frac{10000}{\sqrt{3} \cdot 400} = 14,43 A.$$

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:

$$\operatorname{tg}(\varphi_n + \delta_n) = \frac{U_n \sin \varphi_n + X_{sn} I_n}{U_n \cos \varphi_n} = \frac{400/\sqrt{3} \cdot 0,6 + 2 \cdot 14,43}{400/\sqrt{3} \cdot 0,8} = 0,906,$$

односно

$$\varphi_n + \delta_n = 42,18^\circ.$$

Фазна вриједност електромоторне силе у номиналном режиму је:

$$E_{0n} = \frac{U_n \cos \varphi_n}{\cos(\varphi_n + \delta_n)} = \frac{400/\sqrt{3} \cdot 0,8}{\cos 42,18^\circ} = 249,31V.$$

При константној побудној струји, смањењем брзине обртања, смањује се и електромоторна сила, па је

$$E_0 = E_{0n} \frac{n}{n_n} = 249,31 \frac{1300}{1500} = 216,1V$$

Због промјене брзине, нова учестаност је

$$f = f_n \frac{n}{n_n} = 50 \frac{1300}{1500} = 43,33Hz,$$

па су реактансе

$$X_{s1} = X_s \frac{n_1}{n_n} = 2 \cdot \frac{1300}{1500} = 1,73\Omega, \quad X_{opt} = \omega_{s1} L = 2\pi \cdot 43,33 \cdot 0,15 = 40,84\Omega. \quad \text{Нови}$$

фактор снаге оптерећења је:

$$\cos \varphi = \frac{R_{opt}}{\sqrt{R_{opt}^2 + X_{opt}^2}} = \frac{50}{\sqrt{50^2 + 40,84^2}} = 0,775, \quad \varphi = 39,19^\circ$$

Са фазорског дијаграма је

$$E_0 \sin(\varphi + \delta) = (X_s + X_{opt}) I$$

$$E_0 \cos(\varphi + \delta) = RI,$$

те је

$$\operatorname{tg}(\varphi + \delta) = \frac{X_s + X_{opt}}{R} = \frac{1,73 + 40,84}{50} = 0,85,$$

односно

$$\varphi + \delta = 40,41^\circ, \quad \delta = 1,22^\circ.$$

Са фазорског дијаграма је :

$$E_0 \sin \delta = X_s I \cos \varphi$$

$$E_0 \cos \delta = U + X_s I \sin \varphi,$$

па су струја и напон:

$$I = \frac{E_0 \sin \delta}{X_s \cos \varphi} = \frac{216,1 \cdot \sin 1,22}{1,73 \cdot 0,775} = 3,43A,$$

$$U = E_0 \cos \delta - X_s I \sin \varphi = 216,1 \cdot \cos 1,22 - 1,73 \cdot 3,43 \cdot \sin 39,19 = 212,3V$$

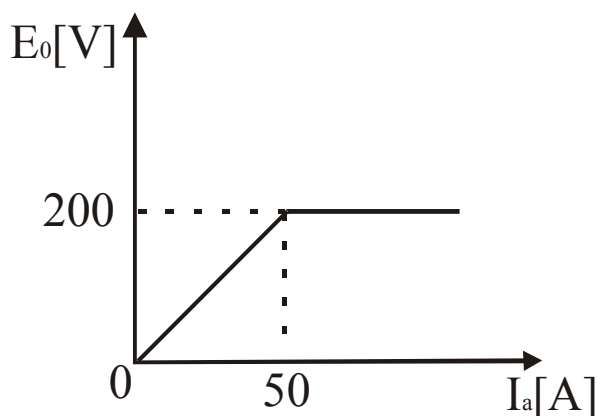
Активна и реактивна снага су:

$$P = 3U_f I_f \cos \varphi = 3 \cdot 212,3 \cdot 3,43 \cdot 0,775 = 1,69kW,$$

$$Q = 3U_f I_f \sin \varphi = 3 \cdot 212,3 \cdot 3,43 \cdot \sin 39,19 = 1,38kVar$$

## МАШИНЕ ЈЕДНОСМЈЕРНЕ СТРУЈЕ

Мотор једносмјерне струје са редном побудом има податке:  $225V$ ,  $50A$ ,  $3000o/min$ . Карактеристика магнећења (зависност индуковане електромоторне силе од струје индукта) снимљена је при номиналној брзини, и апроксимирана је кривом са слике. Мотор је оптерећен са 110% номиналног момента, а његово вратило се обрће брзином од  $2000o/min$ . Одредити напон и струју у овом режиму. Губици у гвожђу, пад напона на четкицама, реакција индукта, као и трење и вентилација могу се занемарити.



### РЈЕШЕЊЕ

Прво је потребно одредити у ком сегменту се налазе струја и електромоторна сила мотора, односно да ли је машина у засићењу. Претпоставимо прво да машина није засићена ( $I_a \leq 50A$ ), па је момент редног мотора пропорционалан квадрату струје:

$$M \sim I_a^2,$$

$$I_{a1} = I_{an} \sqrt{\frac{M_1}{M_n}} = 50 \sqrt{1,1} = 52,44A > 50A.$$

Значи, претпоставка није оправдана, и мотор се налази у засићењу. Момент редног мотора у засићењу, због константног флукса, пропорционалан је струји индукта:

$$M \sim I_a,$$

$$I_{a1} = I_{an} \frac{M_1}{M_n} = 50 \cdot 1,1 = 55A > 50A.$$

Пошто је мотор засићен (флукс је константан – не зависи од струје оптерећења), електромоторна сила зависи само од брзине:

$$E_1 = E_n \frac{n_1}{n_n} = 200 \frac{2000}{3000} = 133,33V.$$

Из номиналног режима мотора може се одредити отпор индукта:

$$R_a = \frac{U_{an} - E_n}{I_{an}} = \frac{225 - 200}{50} = 0,5\Omega,$$

па је напон мотора

$$U_a = E_1 + R_a I_{a1} = 133,33 + 0,5 \cdot 55 = 160,8V$$

## ТРАНСФОРМАТОРИ

Трофазни трансформатор снаге  $630kVA$  има максимални пораст температуре  $\vartheta_m = 90^\circ C$  и временску константу загријавања 60 минута. Губици у бакру при 50% номиналне струје износе  $5kW$ . Максимални степен корисног дејства постиже се при 60% номиналне струје. Одредити коликом максималном привидном снагом трансформатор може бити оптерећен 2 сата при 90% номиналног напона?

### РЈЕШЕЊЕ

Номинални губици у бакру су:

$$P_{Cun} = P_{Cu1} \left( \frac{I_n}{I_1} \right)^2 = 5000 \left( \frac{1}{0,5} \right)^2 = 20kW.$$

Максимални степен корисног дејства има се када су губици независни од оптерећења једнаки губицима зависним од оптерећења:

$$P_{Fen} = P_{Cun} \left( \frac{0,6I_n}{I_n} \right)^2 = 20000 \cdot 0,6^2 = 7200W$$

Пошто губици у гвожђу зависе од квадрата индукције, односно од квадрата напона, при  $0,9U_n$  они износе:

$$P_{Fe1} = P_{Fen} \left( \frac{0,9U_n}{U_n} \right)^2 = 5832W$$

Максимално оптерећење мора бити такво да након 2 сата рада трансформатор достигне номиналну температуру, односно:

$$\vartheta_{mn} = \vartheta_{m1} \left( 1 - e^{-\frac{t}{T}} \right), \quad \vartheta_{m1} = \frac{\vartheta_{mn}}{\left( 1 - e^{-\frac{t}{T}} \right)} = \frac{90}{\left( 1 - e^{-\frac{2}{1}} \right)} = 104,08^\circ C.$$

Максимални пораст температуре (надтемпература) пропорционалан је губицима:

$$\vartheta_m \sim P_{Cu} + P_{Fe},$$

па је

$$\vartheta_{m1} = \vartheta_{mn} \frac{P_{Cu1} + P_{Fe1}}{P_{Cun} + P_{Fen}}, \text{ одакле је}$$

$$P_{Cu1} = \frac{\vartheta_{m1}}{\vartheta_{mn}} (P_{Cun} + P_{Fen}) - P_{Fe1} = \frac{104,08}{90} (20000 + 7200) - 5832 = 25,62kW.$$

Пошто је

$$P_{Cu} \sim I^2, \quad I_1 = I_n \sqrt{\frac{P_{Cu1}}{P_{Cun}}}, \text{ тражена привидна снага је}$$

$$S_1 = \sqrt{3} U_1 I_1 = \sqrt{3} \cdot 0,9 U_n I_n \sqrt{\frac{P_{Cu1}}{P_{Cun}}} = S_n \cdot 0,9 \cdot \sqrt{\frac{P_{Cu1}}{P_{Cun}}} = 630000 \cdot 0,9 \cdot \sqrt{\frac{25620}{20000}} = 641,8kVA$$