

**ZADACI ZA VJEŽBU**

1. Trofaznom asinkronom motoru 400 V, 50 Hz, 2p=6 izmjeren je moment kod nazivnog opterećenja  $M_n=163$  Nm, a moment trenja i ventilacije iznosi 5 Nm. Kod nazivnog opterećenja motora i narinutih 380 V, 50 Hz ukupni gubici u statoru iznose 750 W, a frekvencija rotorskih struja  $f_2=1,5$  Hz. Izračunajte snagu motora na osovini i faktor korisnosti.

**Rješenje:  $P_2 = 16,6$  kW,  $\eta=90,5$  %**

$$s = \frac{f_2}{f_1} = \frac{1.5}{50} = 0.03$$

$$n_s = \frac{60 f_1}{p} = \frac{60 \cdot 50}{3} = 1000 \text{ r/min}$$

$$n = n_s (1 - s) = 1000 (1 - 0.03) = 970 \text{ r/min}$$

$$P_2 = M_2 \omega = M_2 \frac{n\pi}{30} = 163 \frac{970\pi}{30} = 16.6 \text{ kW}$$

$$P_2 = (M_2 + M_{tr,v}) \omega = (M_2 + M_{tr,v}) \frac{n\pi}{30} = (163 + 5) \frac{970\pi}{30} = 17.1 \text{ kW}$$

$$P_{okr} = \frac{P_{meh}}{1 - s} = \frac{17.1}{1 - 0.03} = 17.62 \text{ kW}$$

$$P_1 = P_{okr} + P_{1g} = 17620 + 750 = 18370 \text{ W}$$

$$\eta = \frac{P_2}{P_1} = \frac{1600}{18370} = 0.905 \text{ ili } 90.5\%$$

2. Trofazni kolutni asinkroni 6-polni motor ima podatke: statorski i rotorski namot su spojeni u zvijezdu, otpor između kliznih koluta rotora u toplom stanju iznosi  $R_{ab} = 0,265 \, \Omega$ , a rasipna reaktancija faze rotorskog namota  $X_{\sigma 2} = 0,265 \, \Omega$ . U slučaju priključenja statorskog namota na napon 400 V, 50 Hz, uz zakočen rotor, na otvorenim kliznim kolutima rotora izmjeren je napon 217 V. Motor je opterećen i vrti se brzinom 950 r/min. Ukupni statorski gubici iznose 2,2 kW, a gubici trenja i ventilacije su 1,2 kW. Frekvencija mreže je 50 Hz. Treba izračunati:

- klizanje  $s$  u %,
- frekvenciju rotorskih struja,
- iznos struje rotora,
- gubitke u namotu rotora,
- snagu okretnog polja,
- razvijeni elektromagnetski moment,
- razvijenu snagu na osovini,
- moment na osovini,
- snagu koju motor uzima iz mreže,
- korisnost motora  $\eta$ .

**Rješenje:** a)  $s = 5 \, \%$ , b)  $f_2 = 2,5 \, \text{Hz}$ , c)  $I_2 = 301,5 \, \text{A}$ , d)  $P_{Cu2} = 4363,3 \, \text{W}$ , e)  $P_{okr} = 87266,2 \, \text{W}$ , f)  $M_{em} = 833,75 \, \text{Nm}$ , g)  $P_2 = 81703 \, \text{W}$ , h)  $M_2 = 821,27 \, \text{Nm}$ , i)  $P_1 = 89466,2 \, \text{W}$ , j)  $\eta = 91 \, \%$

$$n_s = \frac{60f}{p} = \frac{60 \cdot 50}{3} = 1000 \, \text{r/min}$$

$$\text{a) } s = \frac{n_s - n}{n_s} = \frac{1000 - 950}{1000} = 0.05 \text{ ili } 5\%$$

$$\text{b) } f_2 = sf_1 = 0.05 \cdot 50 = 2.5 \, \text{Hz}$$

$$\text{c) } I_2 = \frac{E_{20}}{\sqrt{3} \sqrt{\left(\frac{R_2}{s}\right)^2 + X_{\sigma 2}^2}} = \frac{217}{\sqrt{3} \sqrt{\left(\frac{0.016}{0.05}\right)^2 + 0.265^2}} = 301.5 \, \text{A}$$

$$\text{d) } P_{Cu2} = 3I_2^2 R_2 = 3 \cdot 301.5^2 \cdot 0.016 = 4363.31 \, \text{W}$$

$$\text{e) } P_{okr} = \frac{P_{Cu2}}{s} = \frac{4363.31}{0.05} = 87266.2 \, \text{W}$$

$$\text{f) } M_{em} = \frac{P_{okr}}{\omega_s} = \frac{P_{okr}}{n_s \pi} 30 = \frac{87266.2 \cdot 30}{1000 \pi} = 833.75 \, \text{Nm}$$

$$\text{g) } P_2 = P_{okr} - P_{Cu2} - P_{tr,v} = 87266.2 - 4363.31 - 1200 = 81702.9 \, \text{W}$$

$$\text{h) } M_2 = \frac{P_2}{\omega} = \frac{P_2}{n \pi} 30 = \frac{81702.9}{950 \pi} 30 = 821.27 \, \text{Nm}$$

$$\text{i) } P_1 = P_{okr} + P_{g1} = 87266.2 + 2200 = 89466.2 \, \text{W}$$

$$\text{j) } \eta = \frac{P_2}{P_1} = \frac{81702.9}{89466.2} = 0.91 \text{ ili } 91\%$$

3. Pokusom praznog hoda i kratkog spoja trofaznog asinkronog kaveznog motora 400 V, 50 Hz, 30 kW, spoj trokut, otpora faze statora u pogonski toplom stanju kod nazivnog opterećenja  $R_1 = 0,47 \Omega$ , dobiveni su sljedeći rezultati:

kratki spoj: 100 V, 70 A, 6 kW

prazni hod: 400 V, 20,8 A, 1,2 kW.

Na osnovi navedenih podataka odrediti parametre nadomjesne sheme za stacionarno stanje. Pretpostavite da je  $X_{\sigma 1} = X'_{\sigma 2}$ .

**Rješenje:  $R_0 = 451 \Omega$ ,  $X_m = 32,31 \Omega$ ,  $R_1 = 0,47 \Omega$ ,  $R'_2 = 0,754 \Omega$ ,  $X_{\sigma 1} = X'_{\sigma 2} = 1,075 \Omega$**

Kratki spoj:

$$R_k = R_1 + R'_2$$

$$P_k = 3I_k^2 R_k = 3I_k^2 (R_1 + R'_2)$$

$$I_k = \frac{70}{\sqrt{3}} \text{ A - fazna struja}$$

$$R'_2 = \frac{P_k}{3I_k^2} - R_1 = \frac{6000}{3 \cdot \frac{70^2}{3}} - 0,47 = 0,754 \Omega$$

$$Z_k = \frac{U_k}{I_k} = \frac{100}{\frac{70}{\sqrt{3}}} = 2,474 \Omega$$

$$R_k = R_1 + R'_2 = 0,47 + 0,754 = 1,224 \Omega$$

$$X_k = \sqrt{Z_k^2 - R_k^2} = \sqrt{2,474^2 - 1,224^2} = 2,15 \Omega$$

$$X_{\sigma 1} = X'_{\sigma 2} = \frac{X_k}{2} = 1,075 \Omega$$

Prazni hod:

$$Z_0 = \frac{U_0}{I_0} = \frac{400}{\frac{20,8}{\sqrt{3}}} = 33,309 \Omega \text{ - impedancija motora u praznom hodu}$$

$$P'_0 = P_0 - 3I_0^2 R_1 = 1200 - 3 \left( \frac{20,8}{\sqrt{3}} \right)^2 \cdot 0,47 = 996,7 \text{ W - uži gubici praznog hoda (željezo + mehanički gubici)}$$

$$E_0 \doteq U_0 - I_0 X_{\sigma 1} = 400 - \frac{20,8}{\sqrt{3}} \cdot 1,075 = 387,09 \text{ V - približna vrijednost uz zanemarenje } R_1 \text{ i } R_0$$

$$\frac{1}{3} P'_0 = \frac{E_0^2}{R_0} \Rightarrow R_0 = \frac{3E_0^2}{P'_0} = \frac{3 \cdot 387,09^2}{996,7} = 451,0 \Omega$$

$$I_{0r} = \frac{E_0}{R_0} = \frac{387,09}{451,0} = 0,858 \text{ A , } I_\mu = \sqrt{I_0^2 - I_\mu^2} = \sqrt{\left( \frac{20,8}{\sqrt{3}} \right)^2 - 0,858^2} = 11,98 \text{ A}$$

$$X_m = \frac{E_0}{I_\mu} = \frac{387,09}{11,98} = 32,31 \Omega$$

4. Trofazni četveropolni asinkroni kavezni motor ima podatke: 400 V, 3,15 kW, 6,7 A, 50 Hz, 1384,5 r/min,  $\eta = 84\%$ . Parametri nadomjesne sheme su:  $R_1 = 1,7\ \Omega$ ,  $R'_2 = 2,6\ \Omega$ ,  $X_{\sigma 1} = 2,8\ \Omega$ ,  $X'_{\sigma 2} = 3,3\ \Omega$ ,  $X_m = 96\ \Omega$ . Zanimarite otpor  $R_0$  u poprečnoj grani. Stator je spojen u zvijezdu. Treba izračunati:

- faktor snage  $\cos \varphi$ ,
- približni iznos struje praznog hoda,
- gubitke u rotoru  $P_{Cu2}$ ,
- brzinu vrtnje pri nazivnom opterećenju uz pretpostavku da su gubici trenja i ventilacije 1 % nazivne snage,
- struju kratkog spoja pri nazivnom naponu,
- potezni moment pri nazivnom naponu.

**Rješenje:** a)  $\cos \varphi = 0,808$ , b)  $I_0 = -j2,337\text{ A}$ , c)  $P_{Cu2} = 248,8\text{ W}$ , d)  $n_n = 1391,2\text{ r/min}$ , e)  $I_k = 30,96\text{ A}$ , c)  $M_k = 47,6\text{ Nm}$

$$a) \cos \varphi = \frac{P_2}{\sqrt{3} U_1 I_1 \eta} = \frac{3150}{\sqrt{3} \cdot 400 \cdot 6,7 \cdot 0,84} = 0,808$$

$$b) \bar{I}_0 = -j \frac{U_1}{\sqrt{3} (X_{\sigma 1} + X_m)} = -j \frac{400}{\sqrt{3} (2,8 + 96)} = -j2,337\text{ A}$$

$$c) \bar{I}_1 = I_1 \cos \varphi - j I_1 \sin \varphi = 6,7 \cdot 0,808 - j 6,7 \cdot 0,589 = 5,414 - j 3,949 = 6,7 \angle -36,1^\circ\text{ A}$$

$$\bar{I}'_2 = \bar{I}_1 - \bar{I}_0 = 5,414 - j 3,949 - (-j 2,337) = 5,414 - j 1,612 = 5,648 \angle -16,6^\circ\text{ A}$$

$$P_{Cu2} = 3 I'^2_2 R'_2 = 3 \cdot 5,648^2 \cdot 2,6 = 248,8\text{ W}$$

$$d) P_{meh} = P_2 + P_{tr,v} = 3,15 + 0,01 \cdot 3,15 = 3,181\text{ kW}$$

$$s_n = \frac{P_{Cu2}}{P_{okr}} = \frac{P_{Cu2}}{P_{meh} + P_{Cu2}} = \frac{248,8}{3181 + 248,8} = 0,0725$$

$$n_n = n_s (1 - s_n) = 1500 (1 - 0,0725) = 1391,2\text{ r/min}$$

$$e) Z_k = \sqrt{(R_1 + R'_2)^2 + (X_1 + X'_2)^2} = \sqrt{(1,7 + 2,6)^2 + (2,8 + 3,3)^2} = 7,46\ \Omega \quad - \text{zanemarena poprečna grana}$$

$$I_{1k} = I'_{2k} = \frac{U_1}{\sqrt{3} Z_k} = \frac{400}{\sqrt{3} \cdot 7,46} = 30,96\text{ A}$$

$$f) M_k = \frac{3 I'^2_{2k} R'_2}{\omega_s} = \frac{3 \cdot 30,96^2 \cdot 2,6}{1500 \pi} = 47,6\text{ Nm}$$

5. Na trofaznom asinkronom motoru 200 kW, 6 kV, 50 Hz, spoj zvijezda, 1480 r/min izvršen je pokus kratkog spoja sa sniženim naponom, jer nije bilo mogućnosti u ispitnom laboratoriju direktno izmjeriti potezni moment i struju kratkog spoja. Kod 1500 V, 50 Hz narinutih na stator struja je iznosila 30 A, a snaga uzeta iz mreže  $P_k = 22$  kW. Otpor između stezaljki namota statora u toplom stanju iznosio je 3,225  $\Omega$ . Moment gubitaka zbog vlastitog trenja motora iznosi 27,5 Nm. Koliko bi iznosio približno potezni moment i struja kratkog spoja kod nazivnog napona, te koliki je odnos poteznog prema nazivnom momentu?

**Rješenje:  $M_{kn} = 1770$  Nm,  $I_{kn} = 120$  A,  $M_{kn}/M_n = 1,372$**

Bez obzira na spoj namota (trokut ili zvijezda), ako je poznat otpor između stezaljki namota  $R_{st}$ , vrijedi

$$P_{Cu1} = \frac{3}{2} I_1^2 R_{1st}$$

Iz pokusa kratkog spoja slijedi

$$P_k = P_{Cu1} + P_{Cu2} \Rightarrow P_{Cu2} = P_k - P_{Cu1} = P_k - \frac{3}{2} I_k^2 R_{1st} = 22000 - 1,5 \cdot 30^2 \cdot 3,225 = 17646 \text{ W}$$

$$M_k + M_{tr,v} = \frac{P_{Cu2}}{\omega_s} = \frac{17646}{1500\pi} 30 = 112,3 \text{ Nm pri } U_k = 1500 \text{ V}$$

$$M_k = 112,3 - 27,5 = 84,8 \text{ Nm}$$

Uz zanemarenje utjecaja zasićenja na rasipnu reaktanciju vrijedi

$$I_{kn} = I_k \frac{U_n}{U_k} = 30 \frac{6000}{1500} = 120 \text{ A}$$

$$P_{kn} = P_k \left( \frac{U_n}{U_k} \right)^2 = 22 \left( \frac{6000}{1500} \right)^2 = 352 \text{ kW}$$

$$P_{Cu2n} = P_{kn} - \frac{3}{2} I_{kn}^2 R_{1st} = 352000 - 1,5 \cdot 120^2 \cdot 3,225 = 282340 \text{ W}$$

$$M_{kn} + M_{tr,v} = \frac{P_{Cu2n}}{\omega_s} \Rightarrow M_{kn} = \frac{P_{Cu2n}}{\omega_s} - M_{tr,v} = \frac{282340}{1500\pi} 30 - 27,5 = 1770 \text{ Nm}$$

$$M_n = \frac{P_{2n}}{n_n \pi} 30 = \frac{200000}{1480\pi} 30 = 1290 \text{ Nm}$$

$$\frac{M_{kn}}{M_n} = \frac{1770}{1290} = 1,372$$

6. Trofaznom kolutnom asinkronom motoru poznati su podaci: 1250 kW, 6000 V, 50 Hz, 1480 r/min,  $\cos \varphi = 0,91$ ,  $\eta = 0,96$ . Napon među kolutima rotora spojenog u zvijezdu iznosi 865 V u mirovanju. Maksimalni moment je 2,7 puta veći od nazivnog. Izračunajte:

- gubitke u bakru rotora kod nazivnog opterećenja,
- klizanje kod kojeg motor razvija maksimalni moment,
- struju rotora kod nazivnog opterećenja,
- struju statora kod nazivnog opterećenja.

Zanemariti mehaničke gubitke i pad napona na impedanciji statora.

**Rješenje:  $P_{Cu2}=16892$  W, b)  $s_{pr}=0.06944$ , c)  $I_{2n}=845,6$  A, d)  $I_{1n}=137,7$  A**

a)  $P_{Cu2} = s_n P_{okr}$

$$s_n = \frac{n_s - n_n}{n_s} = \frac{1500 - 1480}{1500} = 0.0133$$

$$P_{okr} = \frac{P_{meh}}{1 - s_n} \doteq \frac{P_{2n}}{1 - s_n}$$

$$P_{Cu2} = s_n \frac{P_{2n}}{1 - s_n} = 0.0133 \frac{1250 \cdot 10^3}{0.0133} = 16892 \text{ W}$$

- b) Klossova jednadžba u pojednostavljenom obliku

$$\frac{M_n}{M_{pr}} = \frac{2}{\frac{s_n}{s_{pr}} + \frac{s_{pr}}{s_n}} \Rightarrow \frac{s_n}{s_{pr}} + \frac{s_{pr}}{s_n} = 2 \frac{M_{pr}}{M_n} \Rightarrow s_{pr}^2 + -2 \frac{M_{pr}}{M_n} s_n s_{pr} + s_n^2 = 0$$

$$s_{pr1,2} = \frac{M_{pr}}{M_n} s_n \pm \sqrt{\left(\frac{M_{pr}}{M_n} s_n\right)^2 - s_n^2} = s_n \left( \frac{M_{pr}}{M_n} \pm \sqrt{\left(\frac{M_{pr}}{M_n}\right)^2 - 1} \right)$$

$$s_{pr1,2} = 0.0133 \left( 2.7 \pm \sqrt{2.7^2 - 1} \right) = \begin{cases} s_{pr1} = 0.06944 \\ s_{pr2} = 0.00256 < s_n \end{cases}$$

c)  $M_n = \frac{P_{okr}}{\omega_s} = \frac{3I_2^2 R_2}{n_s \pi} 30 = 3 \frac{E_{20}^2}{\left(\frac{R_2}{s_n}\right)^2 + X_{\sigma 2}^2} \frac{R_2}{n_s \pi} 30$

$$I_2 = \frac{E_{20}}{\sqrt{\left(\frac{R_2}{s_n}\right)^2 + X_{\sigma 2}^2}}$$

Za mala klizanja u okolini nazivnog momenta vrijedi  $\frac{R_2}{s_n} \gg X_{\sigma 2}$  pa se može približno pisati

$$M_n = 3 \frac{E_{20}^2}{\left(\frac{R_2}{s_n}\right)^2 + X_{\sigma 2}^2} \frac{R_2}{n_s \pi} 30 \doteq \frac{3E_{20}^2 s_n}{R_2 n_s \pi} 30 \Rightarrow R_2 = \frac{3E_{20}^2 s_n \cdot 30}{n_s \pi M_n} = \frac{3E_{20}^2 s_n \cdot 30}{n_s \pi \frac{P_{2n}}{n_s \pi} 30} = 3 \frac{n_n}{n_s} \frac{E_{20}^2 s_n}{P_{2n}}$$

$$R_2 = 3 \frac{1480}{1500} \frac{\left(\frac{865}{\sqrt{3}}\right)^2 0.0133}{1250 \cdot 10^3} = 7.875 \text{ m}\Omega$$

$$\left. \begin{aligned} P_{okr} &= \frac{P_{Cu2}}{s_n} = \frac{3I_{2n}^2 R_2}{s_n} \\ P_{okr} &= \frac{P_{meh}}{1-s_n} \doteq \frac{P_{2n}}{1-s_n} \end{aligned} \right\} \Rightarrow \frac{3I_{2n}^2 R_2}{s_n} = \frac{P_{2n}}{1-s_n} \Rightarrow I_{2n} = \sqrt{\frac{P_{2n}}{3R_2} \frac{s_n}{1-s_n}}$$

$$= \sqrt{\frac{1250 \cdot 10^3}{3 \cdot 7.875 \cdot 10^{-3}} \frac{0.0133}{1-0.0133}} = 845.6 \text{ A}$$

ili

$$I_2 = \frac{E_{20}}{\sqrt{\left(\frac{R_2}{s_n}\right)^2 + X_{\sigma 2}^2}} \doteq \frac{E_{20}}{R_2} s_n = \frac{865}{\sqrt{3}} \frac{0.0133}{7.875 \cdot 10^{-3}} = 845.6 \text{ A}$$

d)  $P_{1n} = \sqrt{3} U_n I_{1n} \cos \varphi$

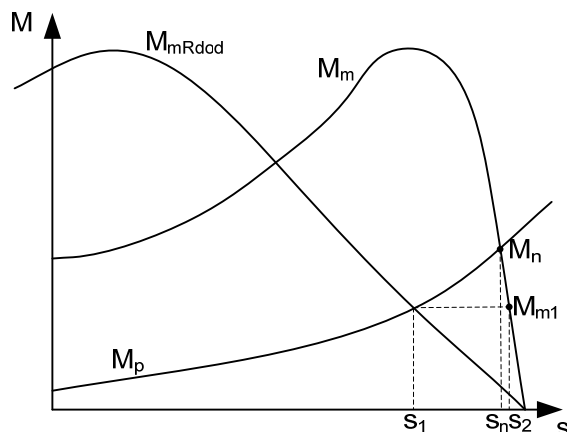
$$P_{1n} = \frac{P_{2n}}{\eta}$$

$$I_{1n} = \frac{P_{2n}}{\sqrt{3} U_n \cos \varphi \eta} = \frac{1250 \cdot 10^3}{\sqrt{3} \cdot 6000 \cdot 0.91 \cdot 0.96} = 137.7 \text{ A}$$

7. Centrifugalnu pumpu s karakteristikom momenta  $M_p = 0,95M_n \left(\frac{n}{n_n}\right)^2 + 0,05M_n$  pokreće

trofazni kolutni asinkroni motor s podacima 8 kW, 380 V, 50 Hz, spoj zvijezda, 18 A, 1435 r/min i otpora po fazi rotora u toplom stanju  $R_2 = 0,65 \Omega$ . Nazivni moment i broj okretaja pumpe jednaki su odgovarajućim nazivnim vrijednostima motora. Odredite vrijednost otpora koji treba dodati po fazi rotora da bi se dobila brzina vrtnje agregata pumpa-motor 1200 r/min.

**Rješenje:  $R_{dod} = 3,56 \Omega$**



Moment pumpe kod 1200 r/min

$$M_{p1} = 0,95M_n \left(\frac{n}{n_n}\right)^2 + 0,05M_n = 0,95M_n \left(\frac{1200}{1435}\right)^2 + 0,05M_n = 0,714M_n$$

$$M_{m1} = M_{p1} = 0,714M_n$$

$$s_1 = 1 - \frac{n}{n_s} = 1 - \frac{1200}{1500} = 0,2$$

$$s_n = 1 - \frac{n_n}{n_s} = 1 - \frac{1435}{1500} = 0,0433$$

U području malih klizanja može se pretpostaviti da je momentna karakteristika motora linearna, tj. da vrijedi  $M_m/s = \text{konst.}$

$$\frac{M_{m1}}{s_2} = \frac{M_n}{s_n} \Rightarrow s_2 = s_n \frac{M_{m1}}{M_n} = 0,0433 \cdot 0,714 = 0,0309$$

Iz uvjeta jednakih rotorskih struja za moment  $M_{m1}$  kod klizanja  $s_1$  i  $s_2$  slijedi

$$I_2 = \frac{E_{20}}{\sqrt{\left(\frac{R_2 + R_{dod}}{s_1}\right)^2 + X_{\sigma 2}^2}} = \frac{E_{20}}{\sqrt{\left(\frac{R_2}{s_2}\right)^2 + X_{\sigma 2}^2}} \Rightarrow \frac{R_2 + R_{dod}}{s_1} = \frac{R_2}{s_2} \Rightarrow R_{dod} = \left(\frac{s_1}{s_2} - 1\right) R_2$$

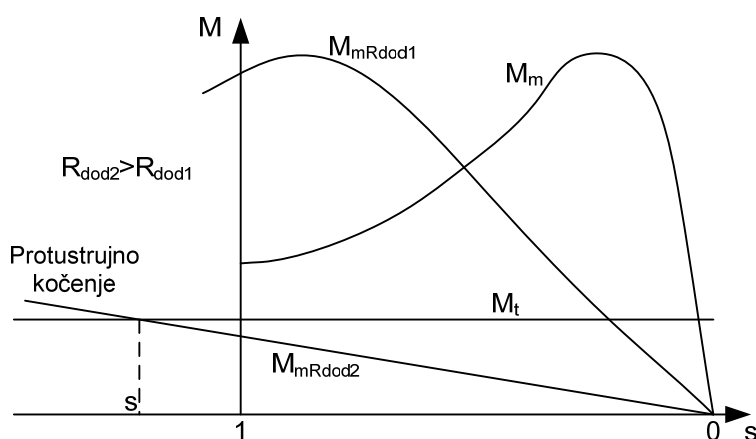
$$R_{dod} = \left(\frac{0,2}{0,0309} - 1\right) R_2 = 5,47 R_2 = 5,47 \cdot 0,65 = 3,56 \Omega$$



8. Trofazni kolutni četveropolni asinkroni motor za 50 Hz radi u režimu protustrujnog kočenja s brzinom vrtnje 375 r/min i razvija kočni moment 295 Nm. Motor ima gubitke u bakru i željezu statora iznosa 5 kW. Zanimarite gubitke u željezu rotora i mehaničke gubitke. Izračunajte:

- snagu kočenja na osovini motora,
- snagu okretnog polja,
- snagu koju motor uzima iz mreže,
- gubitke u bakru rotora.

**Rješenje:** a)  $P_2 = -11,58 \text{ kW}$ , b)  $P_{okr} = 46,34 \text{ kW}$ , c)  $P_1 = 51,34 \text{ kW}$ , d)  $P_{Rdod} + P_{Cu2} = 57,92 \text{ kW}$



$$a) \quad P_2 = M \omega = M \frac{n\pi}{30} = 295 \left( \frac{-375\pi}{30} \right) = -11.58 \text{ kW}$$

$$b) \quad s = \frac{n_s - n}{n_s} = 1 - \frac{n}{n_s} = 1 - \left( \frac{-375}{1500} \right) = 1.25$$

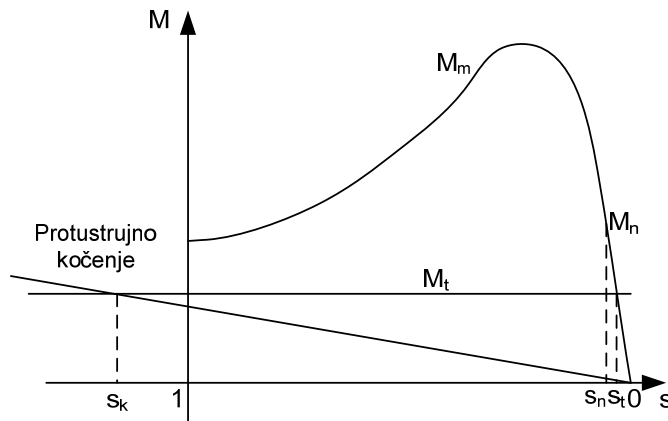
$$P_{okr} = \frac{P_{meh}}{1-s} = \frac{P_2}{1-s} = -\frac{11.58}{1-1.25} = 46.34 \text{ kW}$$

$$c) \quad P_1 = P_{okr} + P_{Cu1} + P_{Fe1} = 46.34 + 5 = 51.34 \text{ kW}$$

$$d) \quad P_{Rdod} + P_{Cu2} = sP_{okr} = 1.25 \cdot 46.34 = 57.92 \text{ kW}$$

9. Trofazni asinkroni motor 36 kW, 380 V, 50 Hz ima mehaničku karakteristiku koja je praktički linearna u području od  $s = 0$  do  $s = s_{pr}$  (prekretno klizanje). Kod nazivnog opterećenja motor se vrti brzinom 970 r/min. Rotor je spojen u zvijezdu. Otpor između dva klizna koluta iznosi  $R_2 = 0,11 \Omega$  u pogonski toplom stanju. Motor spušta teret težine 1200 N koji visi na užetu namotanom na bubanj promjera 0,5 m. Koliko otpora treba uključiti u rotorski krug motora da bi motor spuštao teret protustrujnim kočenjem brzinom 3 m/s. Zanimarite pad napona na statorskoj impedanciji.

**Rješenje:  $R_{dod} = 2,36 \Omega$**



$$\left. \begin{aligned} \omega &= \frac{v}{\frac{D}{2}} = \frac{2v}{D} \\ \omega &= \frac{n\pi}{30} \end{aligned} \right\} \Rightarrow n = \frac{30\omega}{\pi} = \frac{60}{\pi} \frac{v}{D} = \frac{60}{\pi} \frac{3}{0.5} = 114.6 \text{ r/min}$$

Klizanje kod kočenja

$$s_k = \frac{n_s - n}{n_s} = 1 - \frac{n}{n_s} = 1 - \left( \frac{-114.6}{1000} \right) = 1.1146$$

$$M_n = \frac{P_{2n}}{n_n \pi} 30 = \frac{36000}{970 \pi} 30 = 354.4 \text{ Nm}$$

$$s_n = 1 - \frac{n_n}{n_s} = 1 - \frac{970}{1000} = 0.03$$

$$M_t = F_t \frac{D}{2} = 1200 \frac{0.5}{2} = 300 \text{ Nm} = 0.846 M_n$$

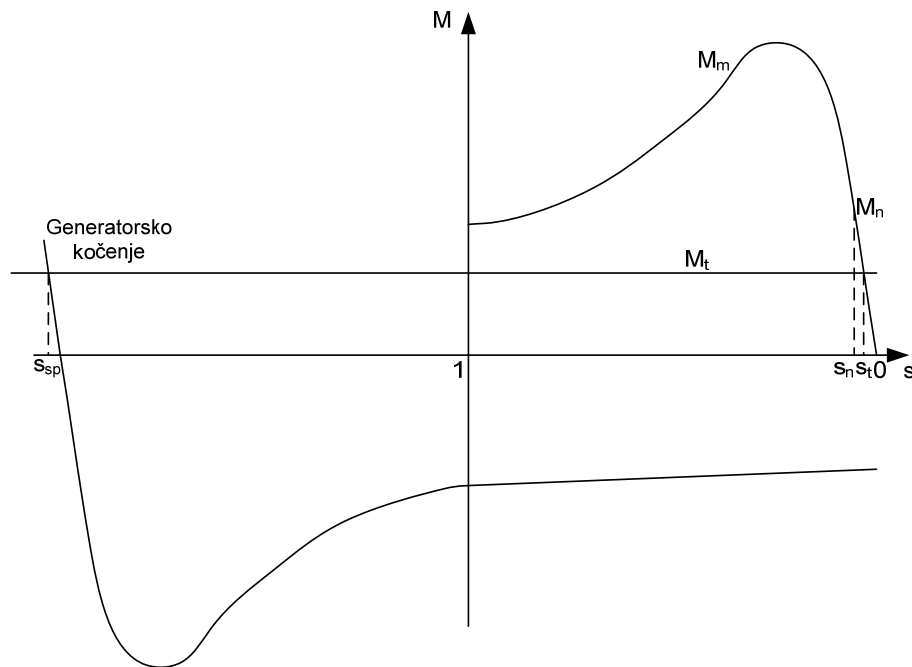
$$\frac{M_t}{s_t} = \frac{M_n}{s_n} \Rightarrow s_t = s_n \frac{M_t}{M_n} = 0.03 \cdot 0.846 = 0.0254$$

$$M_t \doteq \frac{3E_{20}^2 s_t}{R_2 n_s \pi} 30 = \frac{3E_{20}^2 s_k}{(R_2 + R_{dod}) n_s \pi} 30 \Rightarrow \frac{R_2}{s_t} = \frac{R_2 + R_{dod}}{s_k} \Rightarrow R_{dod} = R_2 \left( \frac{s_k}{s_t} - 1 \right)$$

$$R_{dod} = \frac{0.11}{2} \left( \frac{1.1146}{0.0254} - 1 \right) = 2.36 \Omega$$

10. Trofazni asinkroni motor 100 kW, 50 Hz, 970 r/min diže teret brzinom 1,2 m/s kod čega ima brzinu vrtnje 983 r/min. Kojom brzinom motor spušta isti teret u generatorskom režimu rada? Motor prelazi u generatorski režim rada tako da se zamijene dvije faze.

**Rješenje:**  $v_{sp} = -1,24 \text{ m/s}$



$$M_n = \frac{P_2}{n_n \pi} 30 = \frac{100000}{970\pi} 30 = 984.5 \text{ Nm}$$

$$s = \frac{n_s - n_n}{n_s} = 1 - \frac{n_n}{n_s} = 1 - \frac{970}{1000} = 0.03$$

$$s_t = 1 - \frac{983}{1000} = 0.017$$

U području malih klizanja momentna karakteristika se može nadomjestiti pravcem pa vrijedi omjer

$$\frac{M_t}{s_t} = \frac{M_n}{s_n} \Rightarrow M_t = \frac{s_t}{s_n} M_n = \frac{0.017}{0.03} 984.5 = 557.9 \text{ Nm}$$

Spuštanje tereta

$$\frac{M_n}{s_n} = -\frac{M_{sp}}{s_{sp}} \Rightarrow s_{sp} = -s_n \frac{M_t}{M_n} = -0.03 \frac{557.9}{984.5} = -0.017 \text{ - generatorski režim, negativno}$$

klizanje

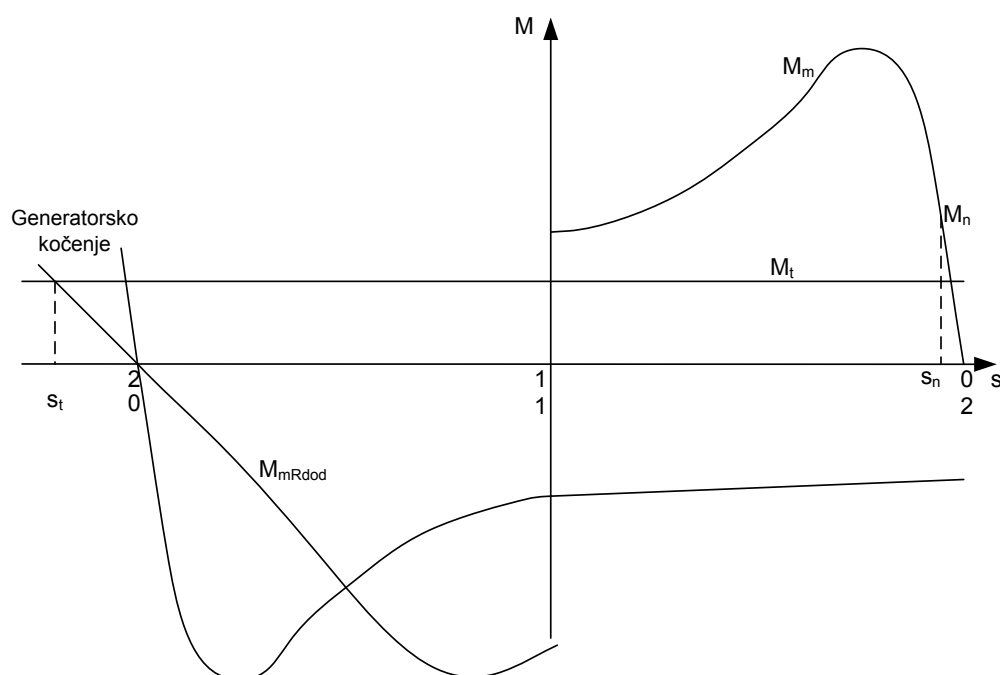
$$n_{sp} = -n_s (1 - s_{sp}) = -1000 [1 - (-0.017)] = -1017 \text{ r/min}$$

$$v_{sp} = v_d \frac{n_{sp}}{n_t} = 1.2 \frac{-1017}{983} = -1.24 \text{ m/s}$$

11. Trofazni kolutni asinkroni motor radi u režimu asinkronog generatora. U rotorski krug dodan je omski otpor tako da brzina vrtnje generatora iznosi 1250 r/min, a kočni moment na osovini je 196 Nm. Motor je 6-polni, frekvencija mreže je 50 Hz, a gubici u bakru i željezu statora iznose 5 kW. Mehaničke gubitke, kao i gubitke u željezu rotora, zanemarite. Izračunajte:

- snagu kočenja na osovini motora,
- klizanje,
- gubitke u rotoru,
- snagu okretnog polja,
- snagu koju generator predaje mreži.

**Rješenje:**  $P_2 = -25,66 \text{ kW}$ , b)  $s_t = -0,25$ , c)  $P_{Rdod} + P_{cu2} = 5,13 \text{ kW}$ , d)  $P_{okr} = -20,53 \text{ kW}$ , e)  $P_1 = -15,53 \text{ kW}$



$$n_s = \frac{60f}{p} = \frac{60 \cdot 50}{3} = 1000 \text{ r/min}$$

$$a) \quad P_2 = M \omega = M \frac{n\pi}{30} = -196 \frac{1250\pi}{30} = -25.66 \text{ kW}$$

$$b) \quad s_t = \frac{n_s - n}{n_s} = 1 - \frac{n}{n_s} = 1 - \frac{1250}{1000} = -0.25$$

$$c) \quad P_{Rdod} + P_{Cu2} = s_t P_{okr} = s_t \frac{P_{meh}}{1-s_t} \doteq s_t \frac{P_2}{1-s_t} = -0.25 \frac{(-25.66)}{1-(-0.25)} = 5.13 \text{ kW}$$

$$d) \quad P_{okr} = \frac{P_{meh}}{1-s_t} \doteq \frac{P_2}{1-s_t} = -\frac{25.66}{1-(-0.25)} = -20.53 \text{ kW}$$

$$e) \quad P_1 = P_{okr} + P_{Cu1} + P_{Fe1} = -20.53 + 5 = -15.53 \text{ kW} \quad - \text{ snaga je negativna jer se predaje u mrežu}$$

12. Pri nazivnom naponu 400 V, 50 Hz, potezni moment kaveznog asinkronog motora  $M_k$  je 170 % nazivnog momenta, a potezna struja  $I_k$  (struja kratkog spoja) 600% nazivne. Koliki bi bili potezni moment i potezna struja ako bi napon snizili na 80 % nazivne vrijednosti.

**Rješenje:**  $M_k = 108,8 \% M_n$ ,  $I_k = 480\% I_n$ .

$$I_{k0.8} = I_k \frac{0.8U_n}{U_n} = 6I_n \cdot 0.8 = 4.8I_n = 480\% I_n$$

$$M_{k0.8} = M_k \left( \frac{0.8U_n}{U_n} \right)^2 = 1.7M_n \cdot 0.8^2 = 1.088M_n = 108.8\% M_n$$

13. Koliko se smanji potezna struja u namotima trofaznog asinkronog motora, a koliko u dovodima iz mreže do motora, ako motor predviđen za stalni pogon u spoju trokut prespojimo u spoj zvijezda pri pokretanju i priključimo na istu mrežu? Skiciraj spoj u trokut i spoj u zvijezdu trofaznog asinkronog motora!

**Odgovor: U dovodima iz mreže 3 puta, a u fazama namota  $\sqrt{3}$  puta.**

$U$  - linijski mrežni napon

$I_{f\Delta}$  - fazna struja u spoju trokut

$I_{l\Delta} = I_{f\Delta} \sqrt{3}$  - linijska struja u spoju trokut

$U_{fY} = \frac{U}{\sqrt{3}}$  - fazni napon u spoju zvijezda

$U_{f\Delta} = U$  - fazni napon u spoju trokut

$I_{fY} = I_{f\Delta} \frac{U_{fY}}{U_{f\Delta}} = I_{f\Delta} \frac{\frac{U}{\sqrt{3}}}{U} = I_{f\Delta} \frac{1}{\sqrt{3}}$  - fazna struja u spoju zvijezda

$I_{lY} = I_{fY} = I_{f\Delta} \frac{1}{\sqrt{3}} = \frac{I_{l\Delta}}{\sqrt{3}} \frac{1}{\sqrt{3}} = I_{l\Delta} \frac{1}{3}$  - linijska struja u spoju zvijezda

14. Kolika će biti struja pokretanja trofaznog asinkronog motora priključenog na mrežu 400 V, 50 Hz preklopom Y/Δ (dakle u spoju Y), ako je pokusom kratkog spoja pri naponu  $0,5 U_n$  i u spoju Δ motor uzimao iz mreže 120 A? Podaci s natpisne pločice motora su: 20 kW, 400 V, 50 Hz,  $\cos \varphi = 0,8$ ,  $\eta = 0,88$ , spoj namota Δ. Koliko iznosi nazivna struja motora i koliki bi bio omjer nazivne i potezne struje pri direktnom pokretanju motora?

**Rješenje: pokretanje u spoju zvijezda, struja u dovodima i fazama  $I_k = 80$  A.**

**Nazivna struja u spoju trokut 41 A,  $I_k / I_n = 5,85$ .**

$$I_{kY0.5U_n} = I_{k\Delta0.5U_n} \frac{1}{3} = \frac{120}{3} = 40 \text{ A}$$

$$I_{kYU_n} = I_{kY0.5U_n} \frac{U_n}{0.5U_n} = 40 \cdot \frac{1}{0.5} = 80 \text{ A}$$

$$I_{k\Delta U_n} = 80 \cdot 3 = 240 \text{ A}$$

$$I_{n\Delta} = \frac{P_2}{\sqrt{3} U_n \cos \varphi \eta} = \frac{20000}{\sqrt{3} \cdot 400 \cdot 0.8 \cdot 0.88} = 41 \text{ A}$$

$$\frac{I_{k\Delta}}{I_{n\Delta}} = \frac{240}{41} = 5.85$$