

**68. Zadatak:** Za dati trofazni asinhroni motor odrediti:

- a) Broj pari polova.
- b) Klizanje.
- c) Frekvenciju struje u rotoru.
- d) Brzinu obrtnog polja rotora u odnosu na rotor.

Frekvencija mreže na koju je priključen asinhroni motor iznosi  $f = 50$  Hz, a brzina obrtanja rotora je  $n = 2900$  o/min.

---

a) Brzina rotora asinhronne mašine je različita u odnosu na brzinu obrtnog polja statora tj. sinhronu brzinu. Pošto se rotor asinhronne mašine obrće različitom brzinom u odnosu na sinhronu brzinu, otud potiče naziv asinhrona mašina. Sinhrona brzina i brzina rotora asinhronne mašine su različite, ali bliske. Na osnovu navedene brzine  $n = 2900$  o/min zaključuje se da je sinhrona brzina  $n_s = 3000$  o/min.

Sada se broj pari polova asinhronne mašine može izračunati na osnovu sledeće jednačine:

$$p = \frac{60f}{n_s} = \frac{60 \cdot 50}{3000} = 1. \quad (68.1)$$

b) Razlika između brzine obrtnog polja – sinhronne brzine, i brzine obrtanja rotora, definiše apsolutno klizanje,  $n_{kl} = n_s - n$ . Klizanje se izražava i u procentima i/ili u relativnim jedinicama, u odnosu na sinhronu brzinu. Kada su brzine date u o/min klizanje se izračunava na sledeći način:

$$s = \frac{n_s - n}{n_s} \text{ r.j. ili } s = \frac{n_s - n}{n_s} \cdot 100 \%. \quad (68.2)$$

Za  $p = 1$  i  $f = 50$  Hz, odnosno sinhronu brzinu  $n_s = 3000$  o/min, na osnovu (68.2) klizanje iznosi:

$$s = \frac{3000 - 2900}{3000} \cdot 100 = 3,33 \%. \quad (68.3)$$

c) Na osnovu definicije klizanja, odnosno jednačine (68.2), može se zapisati:

$$n_s = n + sn_s / \cdot \frac{2\pi}{60}, \quad (68.4)$$

$$\omega_s = \omega + s\omega_s, \quad (68.5)$$

$$\omega_s = \omega + \omega_r. \quad (68.6)$$

gde su:  $\omega_s$  – ugaona brzina obrtnog polja, električna sinhrona brzina, kružna frekvencija napona napajanja ( $\omega_s = 2\pi f$ ),

$\omega$  – električna ugaona brzina rotora u odnosu na stator,

$\omega_r$  – električna ugaona brzina rotora u odnosu na obrtno polje, kružna frekvencija struja i ems u rotoru.

Prema (68.5) i (68.6) frekvencija struja u rotoru asinhronne mašine je:

$$f_r = sf = 0,0333 \cdot 50 = 1,665 \text{ Hz.} \quad (68.7)$$

Zaključak koji je dat u (68.6) je saglasan sa uslovima za razvijanja srednjeg momenta različitog od nule  $\omega = \pm(\omega_s \pm \omega_r)$ , koji važi za asinhronu mašinu.

d) Obrtno polje statora u odnosu na stator se kreće brzinom  $\omega_s$ . Rotorske struje imaju kružnu frekvenciju  $\omega_r$ , što definiše da njihovo obrtno polje u odnosu na rotor ima brzinu  $\omega_r$ . Kako rotor u odnosu na stator ima brzinu  $\omega$ , to je brzina obrtnog polja rotora u odnosu na stator zbir prethodno pomenutih brzina, što je sinhrona brzina  $\omega_r + \omega = \omega_s$ . Može se zaključiti da se obrtna polja statora i rotora obrću istom brzinom tj. sinhronom brzinom. Između polja rotora i statora nema relativnog kretanja. Ovaj zaključak je opšti u smislu razvijanja srednjeg momenta konverzije različitog od nule.

Brzina obrtnog polja rotora u odnosu na rotor je  $n_r$ :

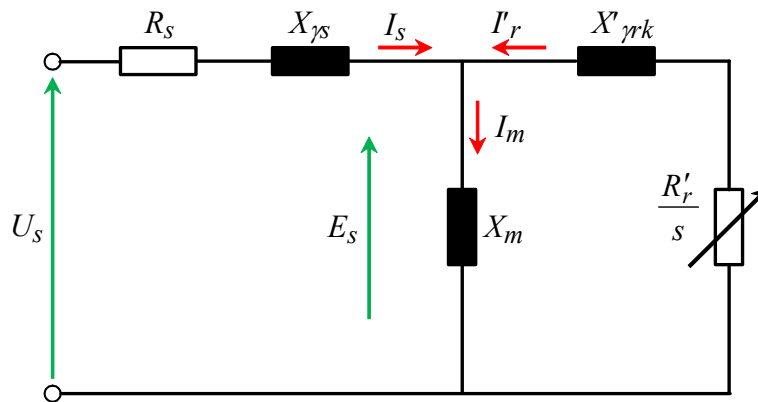
$$n_r = n_s - n = 3000 - 2900 = 100 \text{ o/min,} \quad (68.8)$$

dok je brzina obrtanja obrtnog polja rotora u odnosu na stator sinhrona,  $n_s = 3000 \text{ o/min}$ .

**81. Zadatak:** Poznati su podaci trofaznog asinhronog kaveznog motora:  $U_n = 220 \text{ V}$ ,  $n_n = 1650 \text{ o/min}$ . Namotaj statora vezan je u trougao. Parametri ekvivalentne šeme su  $R_s = 0,65 \Omega$ ,  $R'_r = 0,65 \Omega$ ,  $X_{\gamma s} = X'_{\gamma k} = 0,361 \Omega$  i  $X_m = 17,3 \Omega$ . Mehanički gubici i gubici u gvožđu se mogu zanemariti. Motor radi u nazivnom režimu, sa konstantnim nazivnim momentom radne mašine.

- Nacrtati ekvivalentnu šemu i odrediti nominalnu struju motora i faktor snage.
- Odrediti nominalni momenat motora, nominalnu snagu motora, ulaznu snagu i gubitke u bakru statora i rotora.
- Koliki je koeficijent korisnog dejstva pri nominalnom opterećenju motora?

a) Ekvivalentna šema asinhronog motora uz zanemarene gubitke u gvožđu, prikazana je na slici 81.1.



Slika 81.1. Ekvivalentna šema asinhronog motora uz zanemarene gubitke u gvožđu.

Nominalna brzina motora je  $n_n = 1650 \text{ o/min}$ , a njoj najbliža sinhrona brzina je  $n_s = 1800 \text{ o/min}$ , pa je nominalno klizanje motora:

$$s_n = \frac{1800 - 1650}{1800} \cdot 100 = 8,33\%, \quad (81.1)$$

pa zaključujemo da je mašina namenjena za učestanost od 60 Hz.

Kako je u ekvivalentnom kolu uvažena grana magnećenja, to se do nominalne struje motora može doći pomoću jednačine:

$$I_{nf} = \frac{U_n}{|\hat{Z}_e|}. \quad (81.2)$$

Sada je potrebno odrediti ulaznu impedansu za ekvivalentnu šemu asinhronog motora sa slike 81.1.

$$\hat{Z}_e = R_s + jX_{\gamma s} + \frac{jX_m \cdot (R'_r/s + jX'_{\gamma k})}{R'_r/s + j(X_m + X'_{\gamma k})}, \quad (81.3)$$

$$\hat{Z}_e = R_s + jX_{\gamma s} + \frac{X_m^2(R'_r/s) + j[(R'_r/s)^2 + X'_{rk}(X_m + X'_{rk})]X_m}{(R'_r/s)^2 + (X_m + X'_{rk})^2},$$

$$\hat{Z}_e = (6,91 + j3,48)\Omega \Rightarrow |\hat{Z}_e| = \sqrt{6,91^2 + 3,48^2} = 7,74\Omega. \quad (81.4)$$

Sada se može odrediti nominalna (fazna) struja motora:

$$I_{nf} = \frac{U_n}{|\hat{Z}_e|} = \frac{220}{7,74} = 28,42 \text{ A},$$

kako su namotaji motora vezani u trougao to je nominalna struja motora  $I_n = \sqrt{3} \cdot I_{nf} = 49,23 \text{ A}$ .

Nominalna vrednost faktora snage uz zanemarene gubitke u gvožđu, se može odrediti pomoću jednačine (81.4):

$$\cos \varphi_n = \frac{\operatorname{Re}\{\hat{Z}_e\}}{|\hat{Z}_e|} = \frac{6,91}{7,74} = 0,89. \quad (81.5)$$

b) Ulazna električna snaga je:

$$P_{el} = \sqrt{3}U_n I_n \cos \varphi_n = \sqrt{3} \cdot 220 \cdot 49,23 \cdot 0,89 = 16695,6 \text{ W}. \quad (81.6)$$

Kako je snaga gubitaka u gvožđu zanemarena to je snaga obrtnog polja:

$$P_{ob} = P_{el} - P_{Cusn} = P_{el} - 3I_{nf}^2 \cdot R_s = 16695,6 - 3 \cdot 28,42^2 \cdot 0,65 = 15120,6 \text{ W}. \quad (81.7)$$

Gubici u bakru rotora iznose:

$$P_{Curn} = s_n \cdot P_{ob} = 0,0833 \cdot 15120,6 = 1260 \text{ W}. \quad (81.8)$$

Kako su mehanički gubici zanemareni, to ovako izračunata mehanička snaga koja se dobija na vratilu motora predstavlja nominalnu snagu motora:

$$P_n = P_{meh} = P_{ob} - P_{Cur} - P_{gmeh} = (1 - s_n) \cdot P_{ob} = (1 - 0,083) \cdot 15120,6 = 13860,5 \text{ W}. \quad (81.9)$$

Nominalni momenat motora je:

$$M_n = \frac{P_{meh}}{\omega_n} = \frac{P_n}{\frac{2\pi \cdot n_n}{60}} = \frac{13860,5}{\frac{2\pi \cdot 1650}{60}} = 80,2 \text{ Nm}. \quad (81.10)$$

c) Koeficijent korisnog dejstva pri nominalnom opterećenju motora iznosi:

$$\eta = \frac{P_n}{P_{el}} = \frac{13860,5}{16695,6} = 83\%. \quad (81.11)$$

**87. Zadatak:** Trofazni asinhroni šestopolni motor ima parametre ekvivalentne šeme:  $R_s = 0,06 \Omega$ ,  $R'_r = 0,068 \Omega$ ,  $X_k = X_{js} + X'_{rk} = 0,42 \Omega$ . Sprega namotaja statora je zvezda, a gubici u gvožđu i mehanički gubici se mogu zanemariti.

- Odrediti polaznu struju i polazni momenat kada se motor priključi na mrežu nominalnog napona 400 V.
- Kolika će biti brzina obrtanja i struja motora, ako je on opterećen radnom mašinom čiji momenat opterećenja iznosi 400 Nm?

- Kada su poznati parametri ekvivalentne šeme asinhronog motora i kada se zanemari grana magnećenja, struja motora je:

$$I_f = \frac{U_{nf}}{Z_e} = \frac{U_{nf}}{\sqrt{(R_s + R'_r/s)^2 + X_k^2}}. \quad (87.1)$$

Polazna struja motora se može dobiti iz jednačine (87.1) kada se uvaži da je u trenutku polaska klizanje  $s = 1$  r.j. i da je namotaj statora vezan u zvezdu tj. da je  $U_{nf} = U_n/\sqrt{3}$ :

$$I_{pol f} = \frac{400/\sqrt{3}}{\sqrt{(0,06 + 0,068)^2 + 0,42^2}} = 526 \text{ A}.$$

Struja sračunata pomoću jednačine (87.1) je fazna struja – struja kroz fazni namotaj motora. Kako je namotaj statora motora spregnut u zvezdu to je linijska vrednost struje polaska motora jednaka faznoj i pri nominalnom naponu napajanja je  $I_{pol n} = I_{pol f} = 526 \text{ A}$ .

Polazni momenat se može odrediti pomoću jednačine:

$$m_c = \frac{3p}{2\pi f} \cdot U_{nf}^2 \cdot \frac{R'_r/s}{(R_s + R'_r/s)^2 + X_k^2}, \quad (87.2)$$

kada se uvaži da je u trenutku polaska klizanje  $s = 1$  r.j.

$$M_{pol} = \frac{3p}{2\pi f} \cdot U_{nf}^2 \cdot \frac{R'_r}{(R_s + R'_r)^2 + X_k^2}, \quad (87.3)$$

$$M_{pol} = \frac{3 \cdot 3}{100\pi} \cdot \left(\frac{400}{\sqrt{3}}\right)^2 \cdot \frac{0,068}{(0,06 + 0,068)^2 + 0,42^2} = 538,9 \text{ Nm}.$$

Sada se može izvesti zaključak, da ovaj motor može pokrenuti svaku radnu mašinu čiji je momenat manji od 538,9 Nm pri pokretanju.

- Tražena brzina obrtanja se može odrediti ako se prethodno odredi klizanje motora pri momentu opterećenja od  $m_m = 400 \text{ Nm}$ :

$$m_m = m_c = \frac{3p}{2\pi f} \cdot U_{nf}^2 \cdot \frac{R'_r/s}{(R_s + R'_r/s)^2 + X_k^2}. \quad (87.4)$$

Iz (87.4) se dolazi do kvadratne jednačine po klizanju:

$$s^2 \cdot (R_s^2 + X_k^2) + s \cdot \left( 2R_s R_r' - \frac{3p}{2\pi f} \cdot U_{nf}^2 \cdot \frac{R_r'}{m_m} \right) + R_r'^2 = 0, \quad (87.5)$$

$$0,18 \cdot s^2 - 0,25171 \cdot s + 0,068^2 = 0,$$

čije je jedino fizički prihvatljivo rešenje  $s = 1,86 \%$ . Ovom klizanju odgovara brzina obrtanja:

$$n = (1 - s) \cdot n_s = (1 - 0,0186) \cdot 1000 = 981,4 \text{ o/min}. \quad (87.6)$$

Kako je poznato klizanje pri momentu opterećenja od  $m_m = 400 \text{ Nm}$  može se odrediti i struja motora pri datom opterećenju primenom jednačine (87.1):

$$I_f = \frac{400/\sqrt{3}}{\sqrt{(0,06 + 0,068/0,0186)^2 + 0,42^2}} = 61,76 \text{ A}. \quad (87.7)$$

**80. Zadatak:** Poznati su podaci trofaznog kaveznog asinhronog motora:  $U_n = 380 \text{ V}$ ,  $50 \text{ Hz}$ ,  $s_n = 3 \%$ , namotaj statora ima jedan par polova i vezan je u trougao. Parametri ekvivalentne šeme su:  $R_s = 0,707 \ \Omega$ ,  $R'_r = 0,771 \ \Omega$ ,  $X_k = X_{\gamma s} + X'_{\gamma r k} = 2,113 \ \Omega$ . Grana magnećenja se može izostaviti, a gubici u gvožđu i mehanički gubici se mogu zanemariti.

- Odrediti nominalnu struju i faktor snage motora.
- Odrediti nominalni momenat motora, nominalnu snagu motora, ulaznu snagu i gubitke u bakru statora i rotora, koeficijent korisnog dejstva.
- Koliko maksimalno može iznositi momenat radne mašine koju motor može da pokrene, u uslovima napajanja nominalnim naponom?
- Koliko maksimalno može iznositi momenat radne mašine koju motor može da pokrene, u uslovima napajanja naponom čija efektivna vrednost iznosi  $400 \text{ V}$ ?
- Nacrtati momentne karakteristike i obeležiti proračunate radne tačke.

Dobijene rezultate uporediti sa tabličnim podacima za motor:  $P_n = 15 \text{ kW}$ ,  $I_n = 30 \text{ A}$ ,  $\cos \varphi_n = 0,85$ , nominalni koeficijent korisnog dejstva iznosi  $\eta_n = 0,87$ .

- a) Kako je poznato nominalno klizanje i parametri ekvivalentne šeme motora, to se na osnovu šeme date na slici 80.1. nominalna struja motora može lako odrediti kao:

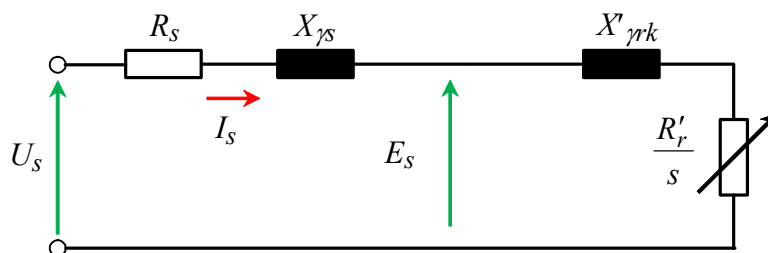
$$I_{nf} = \frac{U_{nf}}{Z_e} = \frac{U_{nf}}{\sqrt{(R_s + R'_r/s_n)^2 + (X_{\gamma s} + X'_{\gamma r k})^2}}, \quad (80.1)$$

$$I_{nf} = \frac{380}{\sqrt{(0,707 + 0,771/0,03)^2 + 2,113^2}} = 14,3 \text{ A}.$$

Treba primetiti da je zbog spoja namotaja statora u trougao, linijska struja motora  $\sqrt{3} \cdot I_f$ . Nominalna struja motora (nominalna struja motora je linijska struja) iznosi:

$$I_n = \sqrt{3} \cdot I_{nf} = 24,8 \text{ A}. \quad (80.2)$$

Prema natpisnoj pločici, za motor iz postavke zadatka, nominalna struja motora iznosi  $30 \text{ A}$ . Može se postaviti pitanje zbog čega se javila razlika vrednosti, izračunate pomoću jednačina (80.1) i (80.2) i podatka sa natpisne pločice motora? Jednačina (80.1) je napisana na osnovu ekvivalentne šeme sa izostavljenom granom magnećenja, datom na slici 80.1.



Slika 80.1. Ekvivalentna šema asinhronog motora sa izostavljenom granom magnećenja.

Izostavljanjem grane magnećenja zanemarena je struja magnećenja i gubici u gvožđu, pa je pomoću jednačine (80.1) određena struja asinhronog motora u kojoj ne figurišu struja magnećenja i aktivna komponenta struje zbog gubitaka u gvožđu. Ovo je glavni razlog ne slaganja navedenih vrednosti.

Ako se za ekvivalentnu šemu sa slike 80.1. odredi faktor snage:

$$\cos \varphi = \frac{R_s + R'_r/s_n}{\sqrt{(R_s + R'_r/s_n)^2 + X_k^2}}, \quad (80.3)$$

$$\cos \varphi = \frac{0,707 + 0,771/0,03}{\sqrt{(0,707 + 0,771/0,03)^2 + 2,113^2}} = 0,997, \quad (80.4)$$

dobija se neprimereno velika vrednost, jer je na slici 80.1. zanemarena reaktansa (struja) magnećenja koja ekvivalentira potrebnu reaktivnu energiju asinhronog motora. Prema natpisnoj pločici, za motor iz postavke zadatka, nominalna vrednost faktora snage asinhronog motora je  $\cos \varphi_n = 0,85$ .

b) Kako je poznato nominalno klizanje, kao i parametri ekvivalentne šeme motora, to se nominalni momenat motora može lako odrediti:

$$M_n = \frac{3p}{2\pi f} \cdot U_n^2 \cdot \frac{R'_r/s_n}{(R_s + R'_r/s_n)^2 + (X_{js} + X'_{jr})^2}, \quad (80.5)$$

$$M_n = \frac{3 \cdot 1}{100\pi} \cdot 380^2 \cdot \frac{0,771/0,03}{(0,707 + 0,771/0,03)^2 + 2,113^2} = 50,5 \text{ Nm}.$$

Nominalna brzina i snaga motora su:

$$n_n = (1 - s_n) \cdot n_s = (1 - 0,03) \cdot 3000 = 2910 \text{ o/min}, \quad (80.6)$$

$$P_n = M_n \cdot \omega_n = M_n \cdot \frac{2\pi \cdot n_n}{60} = 50,5 \cdot \frac{2\pi \cdot 2910}{60} = 15,39 \text{ kW}. \quad (80.7)$$

Prema natpisnoj pločici, za motor iz postavke zadatka, nominalna snaga motora iznosi 15 kW. Razlika u izračunatoj vrednosti jednačinom (80.7) i katalogskog podatka potiče zbog usvojenih zanemarenja pri određivanju nominalnog momenta jednačinom (80.5) tj. zanemareni su gubici u gvožđu izostavljanjem grane magnećenja i zanemareni su mehanički gubici.

Može se smatrati da približno gubici u gvožđu i mehanički gubici iznose  $15390 - 15000 = 390 \text{ W}$ .

Gubici u bakru stora i rotora ovog motora pri nominalnoj struji sa tablice motora iznose:

$$P_{Cusn} = 3 \cdot R_s \cdot I_{nf}^2 = 3 \cdot 0,707 \cdot (30/\sqrt{3})^2 = 636,3 \text{ W}, \quad (80.8)$$

$$P_{Curn} = 3 \cdot R'_r \cdot I_{nf}^2 = 3 \cdot 0,771 \cdot (30/\sqrt{3})^2 = 693,9 \text{ W}. \quad (80.9)$$

Ukupni gubici u asinhronom motoru su:

$$P_g = P_{Fe} + P_{gmeh} + P_{Cusn} + P_{Curn} \quad (80.10)$$

$$P_g = 390 + 636,3 + 693,9 = 1720,2 \text{ W} \quad (80.11)$$

Ulazna nominalna (električna) snaga je:

$$P_{el} = P_n + P_g, \quad (80.12)$$

$$P_{el} = 15000 + 1720,2 = 16720,2 \text{ W}.$$

Do ulazne nominalne (električne) snaga se moglo doći i ovako:

$$P_{el} = \sqrt{3} \cdot U_n \cdot I_n \cdot \cos \varphi_n = \sqrt{3} \cdot 380 \cdot 30 \cdot 0,85 = 16783,6 \text{ W} \quad (80.13)$$

Nominalni koeficijent korisnog dejstva ovog motora je:

$$\eta = \frac{P_{iz}}{P_{ul}} = \frac{P_n}{P_{el}} = \frac{15000}{16783,6} = 89,7 \% \quad (80.14)$$

S obzirom na učinjena zanemarenja, izračunati koeficijent korisnog dejstva neznatno odstupa od nominalne vrednosti,  $\eta_n = 87\%$ . Koeficijent korisnog dejstva asinhronih motora se kreće u rasponu  $70 \div 97 \%$ .

c) Asinhroni motor može uspešno pokrenuti samo radnu mašinu čiji je momenat manji od polaznog momenta asinhronog motora pri tom naponu napajanja. Polazni momenat datog motor iznosi:

$$M_{pol n} = \frac{3p}{2\pi f} \cdot U_{nf}^2 \cdot \frac{R'_r}{(R_s + R'_r)^2 + (X_{js} + X'_{rk})^2}, \quad (80.15)$$

$$M_{pol n} = \frac{3 \cdot 1}{100\pi} \cdot 380^2 \cdot \frac{0,771}{(0,707 + 0,771)^2 + 2,113^2} = 159,9 \text{ Nm}.$$

Da bi došlo do pokretanja motora pri datom naponu napajanja, momenat radne mašine mora biti manji od 159,9 Nm.

d) Ovaj motor je projektovan i napravljen za nominalan napon od  $U_n = 380 \text{ V}$ . Upotrebom u standardnoj trofaznoj mreži nominalnog napona  $U_{n mreze} = 400 \text{ V}$ , polazni momenat postaje veći. Momenat koji asinhroni motor razvija srazmeran sa kvadratom napona napajanja:

$$m_c \propto U^2. \quad (80.16)$$

Na osnovu (80.16) se može uspostaviti odnos polaznih momenata pri sniženom i pri nominalnom naponu napajanja:

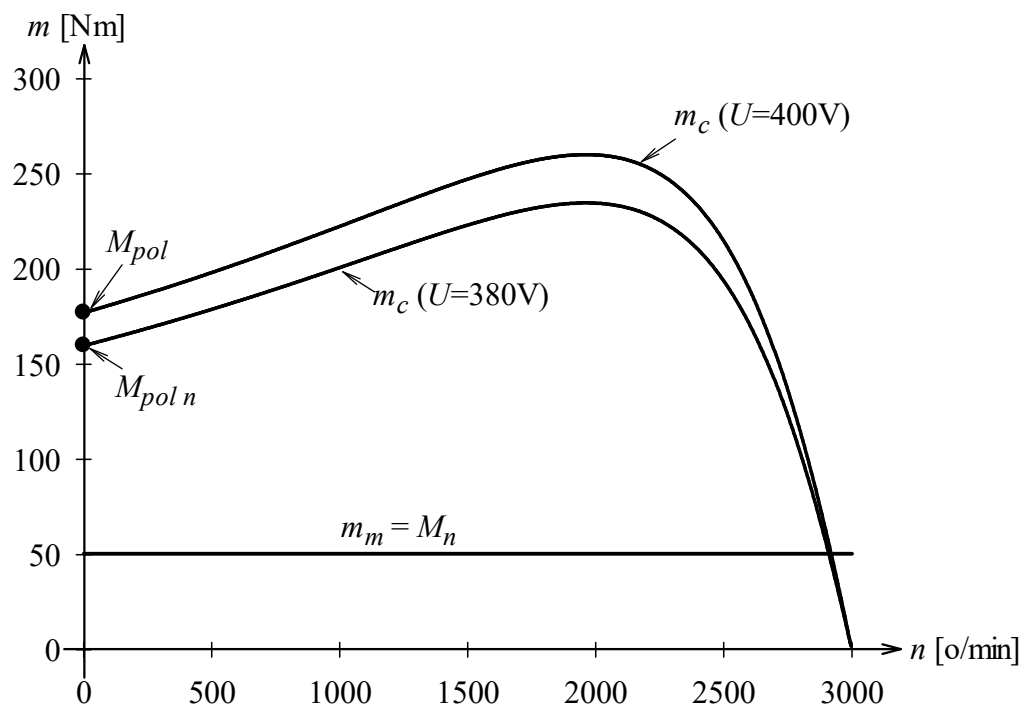
$$\frac{M_{pol}}{M_{pol n}} = \left( \frac{U_{n mreze}}{U_n} \right)^2. \quad (80.17)$$

Prema (80.17) polazni momenat motora je:

$$M_{pol} = M_{pol n} \cdot \left( \frac{U_{n mreze}}{U_n} \right)^2, \quad (80.18)$$

$$M_{pol} = M_{pol n} \cdot \left( \frac{400}{380} \right)^2 = 1,11 \cdot M_{pol n}.$$

e) Na slici 80.2. su prikazane mehaničke karakteristike asinhronog motora za nominalni napon motora i za nominalni napon mreže, kao i mehanička karakteristika radne mašine. Na mehaničkoj karakteristici su naznačene i polazne radne tačke.



Slika 80.2. Mehaničke karakteristike asinhronog motora za različite napone napajanja.

**84. Zadatak:** Trofazni asinhroni šestopolni motor ima poznate sledeće podatke: stator i rotor su spregnuti u zvezdu, otpor između dva klizna koluta rotora iznosi  $0,032 \Omega$ , a reaktansa rasipanja rotora po fazi  $X_{rk} = 0,265 \Omega$ . Pri statorskom namotaju priključenom na napon  $380 \text{ V}$ ,  $50 \text{ Hz}$ , izmeren je napon između otvorenih kliznih kolutova rotora u iznosu od  $217 \text{ V}$ .

Rotorski namotaj je potom kratko spojen, motor je opterećen i rotira brzinom od  $950 \text{ o/min}$ . Ukupni gubici u statoru iznose  $2,2 \text{ kW}$ , a gubici na trenje i ventilaciju su  $1,2 \text{ kW}$ . Za dati režim rada ovog motora odrediti:

- Klizanje u %.
- Frekvenciju rotorskih struja.
- Struju rotora.
- Gubitke u bakru rotora.
- Snagu obrtnog polja.
- Razvijeni elektromagnetni momenat.
- Snagu koja se dobija na vratilu.
- Momenat na vratilu.
- Snagu koju motor uzima iz mreže.
- Stepen korisnog dejstva.

- a) Za poznatu brzinu obrtanja  $n = 950 \text{ o/min}$  klizanje motora je:

$$s = \frac{n_s - n}{n_s} = \frac{1000 - 950}{1000} = 5 \% . \quad (84.1)$$

- b) Frekvencija rotorskih struja je:

$$f_r = s \cdot f = 0,05 \cdot 50 = 2,5 \text{ Hz}. \quad (84.2)$$

- c) Struja u rotorskom namotaju određena je indukovanom elektromotornom silom i impedansom rotorskog kola:

$$I_r = \frac{E_r}{\sqrt{R_r^2 + X_{rk}^2}}, \quad (84.3)$$

Kada se rotor obrće, indukovana elektromotorna sila rotora srazmerna je relativnoj brzini kretanja rotora u odnosu na magnetnu indukciju, pa je struja rotora:

$$I_r = \frac{s \cdot E_{kr}}{\sqrt{R_r^2 + s^2 \cdot X_{rk}^2}} = \frac{E_{kr}}{\sqrt{(R_r/s)^2 + X_{rk}^2}}. \quad (84.4)$$

Kada su klizni kolotovi otvoreni, rotorskim namotajem ne teče struja, zbog čega rotor stoji. Mereći napon između kliznih kolutova meri se elektromotorna sila ukočenog rotora  $E_{kr}$ . Kako je namotaj rotora vezan u zvezdu, to je vrednost fazne elektromotorne sile ukočenog rotora  $E_{kr} = 217/\sqrt{3}$ . Merenjem otpornosti između dva kraja trofaznog namotaja rotora vezanog u zvezdu izmereno je  $2 \cdot R_r = 0,032 \Omega$ , tj. otpornost faznog namotaja rotora je  $R_r = 0,016 \Omega$ . Sada su poznate sve potrebne vrednosti da se pomoću (84.4) može izračunati struja rotora:

$$I_r = \frac{217/\sqrt{3}}{\sqrt{(0,016/0,05)^2 + 0,265^2}} = 301,5 \text{ A.} \quad (84.5)$$

Treba primetiti da su u ovom delu zadatka pod c) sve rotorske veličine originalne tj. nisu svedene na statorsku stranu.

d) Gubici u namotajima rotora su:

$$P_{Cur} = 3R_r \cdot I_r^2 = 3 \cdot 0,016 \cdot 301,5^2 = 4363,3 \text{ W.} \quad (84.6)$$

e) Znajući gubitke u namotaju rotora, lako se može doći do snage obrtnog polja:

$$P_{ob} = \frac{P_{Cur}}{s} = \frac{4363,3}{0,05} = 87266 \text{ W.} \quad (84.7)$$

f) Razvijeni elektromagnetni momenat, odnosno momenat konverzije je:

$$m_c = \frac{P_{ob}}{\frac{\omega_s}{p}} = \frac{p}{\omega_s} \cdot P_{ob} = \frac{3}{100\pi} \cdot 87266 = 833,3 \text{ Nm.} \quad (84.8)$$

g) Mehanička snaga koja se dobija na vratilu motora je:

$$P_{meh} = P_{ob} - P_{Cur} - P_{gmeh} = 87266 - 4363,3 - 1200 = 81702,7 \text{ W.} \quad (84.9)$$

h) Mehanički momenat na vratilu motora (momenat radne mašine kojim ona opterećuje asinhroni motor) iznosi:

$$m_m = \frac{P_{meh}}{\omega} = \frac{P_{meh}}{\frac{2\pi \cdot n}{60}} = \frac{81702,7}{\frac{2\pi \cdot 950}{60}} = 821,3 \text{ Nm,} \quad (84.10)$$

Poredeći vrednosti dobijene jednačinama (84.8) i (84.10) uočava se razlika. Momenat konverzije je veći od mehaničkog momenta na vratilu motora za vrednost momenta potrebnog za ventilaciju i za savladavanje trenja.

i) Kada se na snagu obrtnog polja dodaju ukupni gubici u statoru motora dobija se ulazna (električna) snaga:

$$P_{el} = P_{Cus} + P_{Fe} + P_{ob} = 2200 + 87266 = 89460 \text{ W.} \quad (84.11)$$

j) Koeficijent korisnog dejstva za dato opterećenje na vratilu motora je:

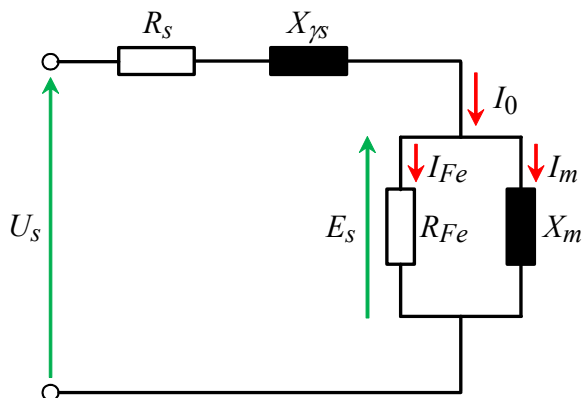
$$\eta = \frac{P_{iz}}{P_{ul}} = \frac{P_{meh}}{P_{el}} = \frac{81702,7}{89460} = 91,3 \% . \quad (84.12)$$

**75. Zadatak:** Trofazni asinhroni motor sprege zvezda,  $U_n = 380 \text{ V}$ ,  $2p = 4$ ,  $50 \text{ Hz}$  ispituje se u ogledu praznog hoda. Izmerena je struja praznog hoda  $I_0 = 6 \text{ A}$  i snaga praznog hoda  $P_0 = 600 \text{ W}$ . Mehanički gubici iznose  $120 \text{ W}$ . Na kraju ogleda praznog hoda motor je odspojen od mreže i  $U - I$  metodom sa jednosmernom strujom izmeren je otpornost jedne faze namotaja statora  $R_s = 0,8 \Omega$ .

Odrediti parametre grane magnećenja ekvivalentne šeme datog motora.

Prazan hod predstavlja radni režim asinhronne mašine u kome na mehaničkom prolazu (vratilu) mašine nema opterećenja. Prazan hod takođe predstavlja i eksperiment koji se sprovodi radi određivanja karakteristika praznog hoda. Iz ogleda praznog hoda mogu se odrediti i parametri ekvivalentnog kola – grana magnećenja. U ogledu praznog hoda motor se priključuje na izvor napona stalne frekvencije i promenljivog napona  $(0,5 \div 1,2)U_n$ .

U stanju praznog hoda, brzina obrtanja rotora asinhronne mašine je veoma bliska sinhronoj brzini, odnosno klizanje je blisko nuli, što za posledicu ima da element ekvivalente šeme asinhronne mašine  $R'/s \rightarrow \infty$ . Ovim se ekvivalentna šema asinhronne mašine za stanje praznog hoda svodi se na šemu prikazanu na slici 75.1.



Slika 75.1. Ekvivalentna šema asinhronog motora u praznom hodu.

U praznom hodu asinhrona mašina povlači reaktivnu snagu potrebnu za magnećenje (koja je bliska nominalnoj reaktivnoj snazi) i aktivnu snagu neophodnu samo za pokrivanje gubitaka praznog hoda. Faktor snage praznog hoda može biti određen na sledeći način:

$$\cos \varphi_0 = \frac{P_0}{\sqrt{P_0^2 + Q_0^2}} = \frac{P_0}{\sqrt{3} \cdot U_n \cdot I_0} = \frac{600}{\sqrt{3} \cdot 380 \cdot 6} = 0,152. \quad (75.1)$$

U praznom hodu zbog  $s \rightarrow 0$  struja rotora je  $I_{r0} \approx 0$ , pa su električni gubici u rotorskom namotaju u praznom hodu  $P_{Cu0} \approx 0$ . Tokom praznog hoda asinhroni motor iz izvora uzima aktivnu snagu da pokrije gubitke u bakru usled struje praznog hoda, gubitke u gvožđu i mehaničke gubitke. Gubici praznog hoda su:

$$P_0 = P_{Cu0} + P_{Fe} + P_{gmeh}. \quad (75.2)$$

Na osnovu (75.2) moguće je odrediti snagu gubitaka u gvožđu:

$$P_{Fe} = P_0 - P_{gmeH} - 3 \cdot R_s \cdot I_0^2 = 600 - 120 - 3 \cdot 0,8 \cdot 6^2 = 393,6 \text{ W}. \quad (75.3)$$

Gubici u gvožđu zavise od frekvencije i magnetne indukcije, zbog čega su za dati napon konstanti i ne zavise od opterećenja. Gubici u gvožđu rotora se zanemaruju zbog male učestanosti rotorskih struja kako u praznom hodu, tako i pri nominalnom opterećenju. Može se zaključiti da će gubici u gvožđu biti isti pri nazivnom opterećenju kao i u praznom hodu pri nominalnom naponu napajanja. Na osnovu prethodnog, ekvivalentne šeme sa slike 75.1, uz zanemarenje pada napona na statoru, važi da je:

$$P_{Fe} = \frac{3 \cdot E_s^2}{R_{Fe}} \approx \frac{3 \cdot U_{nf}^2}{R_{Fe}}, \quad (75.4)$$

odakle se izračunava vrednosti otpornosti u grani magnećenja:

$$R_{Fe} = \frac{3 \cdot U_{nf}^2}{P_{Fe}} = \frac{3 \cdot 220^2}{393,6} = 368,9 \Omega. \quad (75.5)$$

Ne treba smetnuti sa uma da je  $R_{Fe}$  fiktivna otpornost kojom se ekvivalentiraju gubici u gvožđu. Električnim parametrom se ekvivalentiraju gubici čija je priroda nastanka magnetna.

Struja praznog hoda  $I_0$ , sa slike 75.1, ima dominantnu reaktivnu komponentu  $I_m$  koja opisuje reaktivnu snagu potrebnu za magnećenje mašine i znatno manju aktivnu komponentu  $I_{Fe}$  koja opisuje gubitke u gvožđu.

Reaktivna komponenta struje magnećenja  $I_m$  može se odrediti kao:

$$I_m = I_0 \cdot \sin \varphi_0 = 6 \cdot \sqrt{1 - 0,152^2} = 5,9 \text{ A}, \quad (75.6)$$

pa je vrednost reaktanse magnećenja:

$$X_m = \frac{U_{nf}}{I_m} = \frac{220}{5,9} = 37,29 \Omega. \quad (75.7)$$

Kako ekvivalentna šema asinhronog motora ne uzima u obzir mehaničke gubitke, to je ulazna (električna) snaga u ekvivalentnu šemu sa slike 75.1.  $(P_0 - P_{gmeH})/3$ , odnosno ne može se primeniti analogna jednačina za određivanje aktivne komponente struje magnećenja tj.  $I_{Fe} \neq I_0 \cdot \cos \varphi_0$ . Zbog mehaničkih gubitaka ne mogu se izjednačiti struja kroz granu magnećenja i struja praznog hoda, što bi se moglo zaključiti iz ekvivalentne šeme sa slike 75.1.

Vrednost aktivne komponente struje magnećenja ako se zanemari pad napona na statoru iznosi:

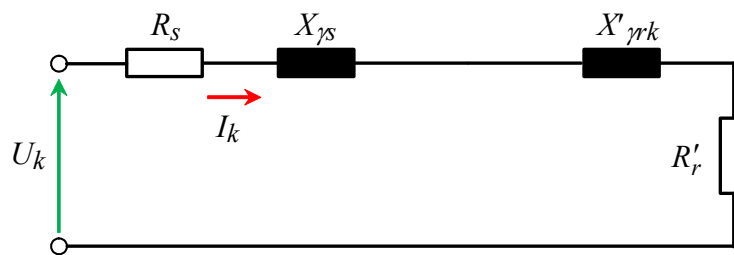
$$I_{Fe} = \frac{E_s}{R_{Fe}} \approx \frac{U_{nf}}{R_{Fe}} = \frac{220}{368,9} = 0,59 \text{ A}. \quad (75.8)$$

**76. Zadatak:** Trofazni asinhroni motor sprege zvezda,  $U_n = 380 \text{ V}$ ,  $2p = 6$ ,  $50 \text{ Hz}$ ,  $n_n = 970 \text{ ob/min}$  ispituje se u ogledu kratkog spoja (zakočeno stanje). Kada je priključen na napon  $U_k = 150 \text{ V}$ , izmerena je struja koju mašina povlači iz mreže  $I_k = 27 \text{ A}$  i snaga  $P_k = 2350 \text{ W}$ . Otpornost jedne faze namotaja na statoru je  $R_s = 0,8 \Omega$ . Odrediti:

- Parametre ekvivalentne šeme.
- Vrednost polaznog momenta pri datom naponu.
- Vrednost polazne struje pri napajanju motora nominalnim naponom.
- Vrednost polaznog momenta pri napajanju motora nominalnim naponom.

a) Kratak spoj asinhronne mašine predstavlja stanje u kojem je na stator doveden trofazni sistem napona, a rotor se ne obrće – mehanički je ukočen dejstvom spoljnog kočionog momenta. Pri svakom pokretanju asinhronog motora iz stanja mirovanja, motor polazi iz kratkog spoja. Ovaj kratak spoj traje vrlo kratko.

U ogledu kratkog spoja, pri ukočenom rotoru, mašina se priključuje na sniženi napon, dovoljan da se postigne struja koja je od interesa u tom ogledu. Ogled kratkog spoja omogućava određivanje parametara ekvivalentne šeme – redne grane, a služi i za konstrukciju tzv. kružnog dijagrama. U kratkom spoju brzina obrtanja rotora mašine je  $n = 0$ , a klizanje je  $s = 1$  r.j. Ekvivalentna šema asinhronne mašine u ogledu kratkog spoja svodi se na šemu prikazanu na slici 76.1.



Slika 76.1. Ekvivalentna šema asinhronog motora u ogledu kratkog spoja.

Snaga koju asinhroni motor povlači iz izvora napajanja u kratkom spoju je:

$$P_k = P_{Cus} + P_{Cur} + P_{Fe} + P_{gmeh}. \quad (76.1)$$

Treba uvažiti činjenicu da je zbog  $n = 0$ ,  $P_{gme h} = 0$ , kao i da se zbog sniženog napona u ovom ogledu gubici u gvožđu mašine mogu zanemariti,  $P_{Fe} \approx 0$ , tako da je ulazna snaga u asinhroni motor tokom kratkog spoja:

$$P_k = P_{Cus} + P_{Cur} = 3 \cdot (R_s + R'_r) \cdot I_k^2 = 3 \cdot R_k \cdot I_k^2. \quad (76.2)$$

Jednačina (76.2) omogućava izračunavanje zbira omske otpornosti statora i svedene vrednosti omske otpornosti rotora  $R_k = R_s + R'_r$  na osnovu izmerene snage i struje kratkog spoja:

$$R_k = R_s + R'_r = \frac{P_k}{3 \cdot I_k^2} = \frac{2350}{3 \cdot 27^2} = 1,07 \, \Omega. \quad (76.3)$$

S obzirom na to da se otpornost statora  $R_s$  lako može izmeriti (na primer U–I metodom jednosmernom strujom) svedena otpornost rotora  $R'_r$  se može izračunati:

$$R'_r = R_k - R_s = 1,07 - 0,8 = 0,27 \, \Omega. \quad (76.4)$$

Na osnovu ekvivalentne šeme asinhronog motora u kratkom spoju, slika 76.1, može se odrediti impedansa:

$$Z_k = \frac{U_{kf}}{I_k} = \frac{150/\sqrt{3}}{27} = 3,2 \, \Omega, \quad (76.5)$$

a zatim izračunati vrednost zbira reaktanse rasipanja statora i svedene reaktanse rasipanja rotora:

$$X_k = X_{\gamma s} + X'_{\gamma rk} = \sqrt{Z_k^2 - R_k^2} = \sqrt{3,2^2 - 1,07^2} = 3 \, \Omega. \quad (76.6)$$

Razdvajanje zbira reaktansi na reaktansu rasipanja statora i svedenu reaktansu rasipanja rotora vrši se, ako nisu poznati neki dodatni podaci koji omogućavaju precizniju podelu, tako što se smatra da su  $X_{\gamma s}$  i  $X'_{\gamma rk}$  jednake, tj:

$$X_{\gamma s} = X'_{\gamma rk} = \frac{X_k}{2} = 1,5 \, \Omega. \quad (76.7)$$

b) Momenat koji mašina razvija u stanju kratkog spoja naziva se polazni (startni, potezni) momenat. Da bi se odredila vrednost polaznog momenta pri datom naponu ogleda kratkog spoja, neophodno je prvo izračunati snagu obrtnog polja ( $P_{ob}$ ). Snaga obrtnog polja (snaga koja se prenosi kroz vazdušni zazor na rotor mašine) izračunava se tako što se od ulazne snage oduzmu gubici u statoru mašine uz uvažavanje činjenice da je u ovom slučaju  $P_{Fe} \approx 0$ :

$$P_{ob} = P_k - P_{Cus} = 2350 - 3 \cdot 0,8 \cdot 27^2 = 600 \, \text{W}, \quad (76.8)$$

$$M_{pol k} = \frac{P_{ob}}{\frac{\omega_s}{p}} = \frac{P_{ob}}{\frac{2 \cdot \pi \cdot f}{p}} = \frac{600}{\frac{2 \cdot 3,14 \cdot 50}{3}} = 5,73 \, \text{Nm}. \quad (76.9)$$

c) U slučaju priključenja asinhronog motora iz stanja mirovanja na mrežu nazivnog napona, motor će povlačiti struju koja je višestruko veća od nazivne struje. Ovo je struja polaska motora i tipično je tri do osam puta veća od nazivne struje. Polaznu struju pri napajanju mašine nominalnim naponom  $I_{pol\ n}$  je jednostavno moguće izračunati, ako se na osnovu (76.5) uspostavi odnos  $I_{pol\ n}/I_k$ , gde je  $I_k$  polazna struja pri napajanju motora sniženim naponom:

$$I_{pol\ n} = \frac{U_n}{U_k} \cdot I_k = \frac{380}{150} \cdot 27 = 68,4 \text{ A} . \quad (76.10)$$

d) Vrednost polaznog momenta pri napajanju motora nominalnim naponom  $M_{pol\ n}$  jednostavno je moguće izračunati, ako se uspostavi odnos  $M_{pol\ n}/M_{pol\ k}$ , gde je  $M_{pol\ k}$  polazni momenta pri napajanju motora sniženim naponom:

$$M_{pol\ n} = \frac{U_n^2}{U_k^2} \cdot M_{pol\ k} = \frac{380^2}{150^2} \cdot 5,73 = 36,77 \text{ Nm} \quad (76.11)$$

**92. Zadatak:** Za trofazni kavezni asinhroni motor parametri ekvivalentne šeme su:  $R_s = 10 \Omega$ ,  $R'_r = 6,3 \Omega$ ,  $X_k = X_{ys} + X'_{yrk} = 12 \Omega$ . Grana magnećenja i mehanički gubici se mogu zanemariti. Motor je opterećen nominalno, radnom mašinom konstantnog momenta  $m_m = 5 \text{ Nm}$ . Motor je predviđen za  $U_n = 400 \text{ V}$ ,  $50 \text{ Hz}$ , namotaj statora je vezan u zvezdu,  $2p = 4$ .

- Odrediti klizanje, brzinu i struju motora u nominalnom radnom režimu.
- Odrediti vrednost napona na priključkama motora pri kojem će brzina obrtanja motora iznositi 1350 o/min, pri nominalnom momentu opterećenja.
- Nacrtati odgovarajuće momentne karakteristike i obeležiti proračunate radne tačke.

- Iz jednačine za momenat konverzije motora pri datom nominalnom opterećenju:

$$m_c = m_m = \frac{3p}{2\pi f} \cdot U_n^2 \cdot \frac{R'_r/s_n}{(R_s + R'_r/s_n)^2 + X_k^2} , \quad (92.1)$$

može se doći do nominalnog klizanja rešavanjem kvadratne jednačine:

$$s_n^2 \cdot (R_s^2 + X_k^2) + s_n \cdot \left( 2R_s R'_r - \frac{3p}{2\pi f} \cdot U_n^2 \cdot \frac{R'_r}{m_m} \right) + R_r'^2 = 0 , \quad (92.2)$$

$$244s_n^2 - 1157,4255s_n + 39,69 = 0 . \quad (92.3)$$

Fizički prihvatljivo rešenje za klizanje iz (92.3) je  $s_n = 3,45 \%$ .

Za poznato nominalno klizanje, nominalna brzina obrtanja četvoropolnog asinhronog motora iznosi:

$$n_n = (1 - s_n) \cdot n_s = (1 - s_n) \cdot \frac{60f}{p}, \quad (92.4)$$

$$n_n = (1 - 0,0345) \cdot \frac{60 \cdot 50}{2} = 1448,25 \text{ o/min}. \quad (92.5)$$

Nominalna struja motora je:

$$I_n = \frac{U_{nf}}{Z_e} = \frac{U_{nf}}{\sqrt{(R_s + R'_r/s_n)^2 + X_k^2}}, \quad (92.6)$$

$$I_n = \frac{400/\sqrt{3}}{\sqrt{(10 + 6,3/0,0345)^2 + 12^2}} = 1,2 \text{ A}.$$

Jednačina (92.6) je data na osnovu pofazne ekvivalentne šeme asinhronog motora, tj. ovo je fazna struja. Kako je namotaj motora vezan u zvezdu, to je linijska struja jednaka faznoj struji. Nominalna struja je uvek linijska struja.

b) Za brzinu obrtnja  $n = 1350 \text{ o/min}$  klizanje iznosi:

$$s_1 = \frac{1500 - 1350}{1500} = 10 \%. \quad (92.7)$$

Da bi se postigla željena brzina od  $n = 1350 \text{ o/min}$ , potrebni napon napajanja se može odrediti iz jednačine (92.1) uz odgovarajuće klizanje:

$$m_c = m_m = \frac{3p}{2\pi f} \cdot U_{1f}^2 \cdot \frac{R'_r/s_1}{(R_s + R'_r/s_1)^2 + X_k^2}, \quad (92.8)$$

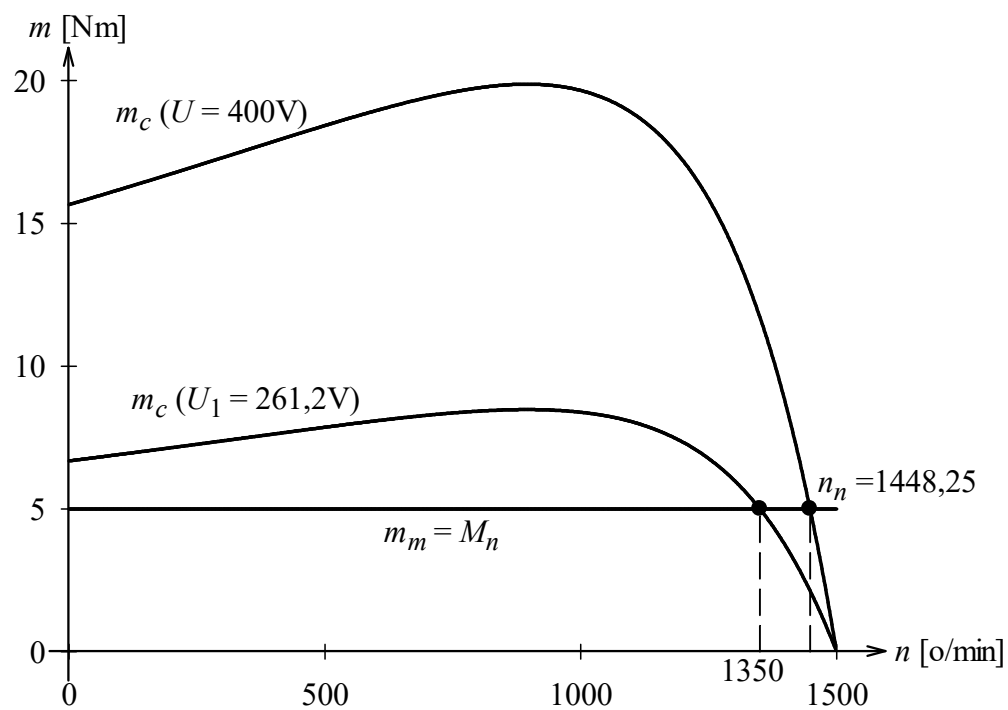
$$U_{1f} = \sqrt{\frac{2\pi f}{3p} \cdot m_m \cdot \frac{(R_s + R'_r/s_1)^2 + X_k^2}{R'_r/s_1}}, \quad (92.9)$$

$$U_{1f} = \sqrt{\frac{100\pi}{3 \cdot 2} \cdot 5 \cdot \frac{(10 + 6,3/0,1)^2 + 12^2}{6,3/0,1}} = 150,8 \text{ V}.$$

Kako je namotaj motora spojen u zvezdu, to je potreban linijski (međufazni) napon napajanja motora:

$$U_1 = \sqrt{3} \cdot U_{1f} = 261,2 \text{ V}. \quad (92.10)$$

c) Na slici 92.1. su prikazane mehaničke karakteristike asinhronog motora pri nominalnom naponu i pri sniženom naponu napajanja motora a u cilju postizanja željene brzine obrtanja, kao i mehanička karakteristika radne mašine. Na mehaničkoj karakteristici su naznačene i radne tačke.



Slika 92.1. Mehaničke karakteristike asinhronog motora za različite napone napajanja.

**90. Zadatak:** Trofazni kliznokolutni asinhroni motor sa podacima:  $U_n = 6000$  V,  $2p = 4$ , 50 Hz,  $s_n = 1$  %,  $R_s = 1,496$   $\Omega$ ,  $R'_r = 0,973$   $\Omega$ ,  $X_k = 20,619$   $\Omega$ , sprega zvezda, opterećen je radnom mašinom konstantnog momenta koji je jednak nominalnom momentu motora. Grana magnećenja i mehanički gubici se zanemaruju.

- Izračunati nominalni momenat, brzinu i snagu motora.
- Odrediti svedenu vrednost trofaznog otpornika koji treba dodati u kolo rotora da bi se postigao maksimalan polazni momenat.
- Odrediti brzinu obrtanja rotora u ustaljenom stanju sa dodatnim otpornikom iz dela zadatka pod b).
- Skicirati mehaničke karakteristike motora i radne mašine i označiti karakteristične radne tačke.

a) Kako je poznato nominalno klizanje i parametri ekvivalentne šeme motora, to se nominalni momenat motora može lako odrediti:

$$M_n = \frac{3p}{2\pi f} \cdot U_n^2 \cdot \frac{R'_r/s_n}{(R_s + R'_r/s_n)^2 + X_k^2}, \quad (90.1)$$

$$M_n = m_m = \frac{3 \cdot 2}{100\pi} \cdot \left(\frac{6000}{\sqrt{3}}\right)^2 \cdot \frac{0,973/0,01}{(1,496 + 0,973/0,01)^2 + 20,619^2} = 2189,3 \text{ Nm}.$$

Nominalna brzina i snaga motora su:

$$n_n = (1 - s_n) \cdot n_s = (1 - 0,01) \cdot 1500 = 1485 \text{ o/min}, \quad (90.2)$$

$$P_n = M_n \cdot \omega_n = M_n \cdot \frac{2\pi \cdot n_n}{60} = 2189,3 \cdot \frac{2\pi \cdot 1485}{60} = 340,455 \text{ kW}. \quad (90.3)$$

b) Uključenjem dodatnog otpornika u kolo rotora utiče se na vrednost polaznog momenta motora. Na ovaj način se može postići da polazni momenat bude:

$$M_{pol} = M_{pr}. \quad (90.4)$$

Ako je uslov iz (90.4), ostvaren, tada je prevalno klizanje  $s_{pr} = 1$  r.j. Iz jednačine za prevalno klizanje:

$$s_{pr} = \frac{R'_r + R'_{dod}}{\sqrt{R_s^2 + X_k^2}} = 1, \quad (90.5)$$

se može doći do svedene vrednosti dodatnog otpornika u kolu rotora ovog kliznokolutnog motora kako bi se postigao  $M_{pol} = M_{pr}$ :

$$R'_{dod} = \sqrt{R_s^2 + X_k^2} - R'_r = \sqrt{1,496^2 + 20,619^2} - 0,973 = 19,7 \text{ } \Omega. \quad (90.6)$$

c) Tražena brzina obrtanja se može odrediti ako se prethodno odredi klizanje motora pri uključenom dodatnom otporniku od  $R'_{dod} = 19,7 \Omega$  i nominalnom mehaničkom momentu opterećenja od  $m_m = 2189,3 \text{ Nm}$ :

$$m_c = m_m = \frac{3p}{2\pi f} \cdot U_n^2 \cdot \frac{(R'_r + R'_{dod})/s}{(R_s + (R'_r + R'_{dod})/s)^2 + X_k^2}, \quad (90.7)$$

$$s^2 \cdot (R_s^2 + X_k^2) + s \cdot \left( 2R_s R'_{ruk} - \frac{3p}{2\pi f} \cdot U_n^2 \cdot \frac{R'_{ruk}}{m_m} \right) + R'^2_{ruk} = 0, \quad (90.8)$$

gde je  $R'_{ruk} = R'_r + R'_{dod}$ .

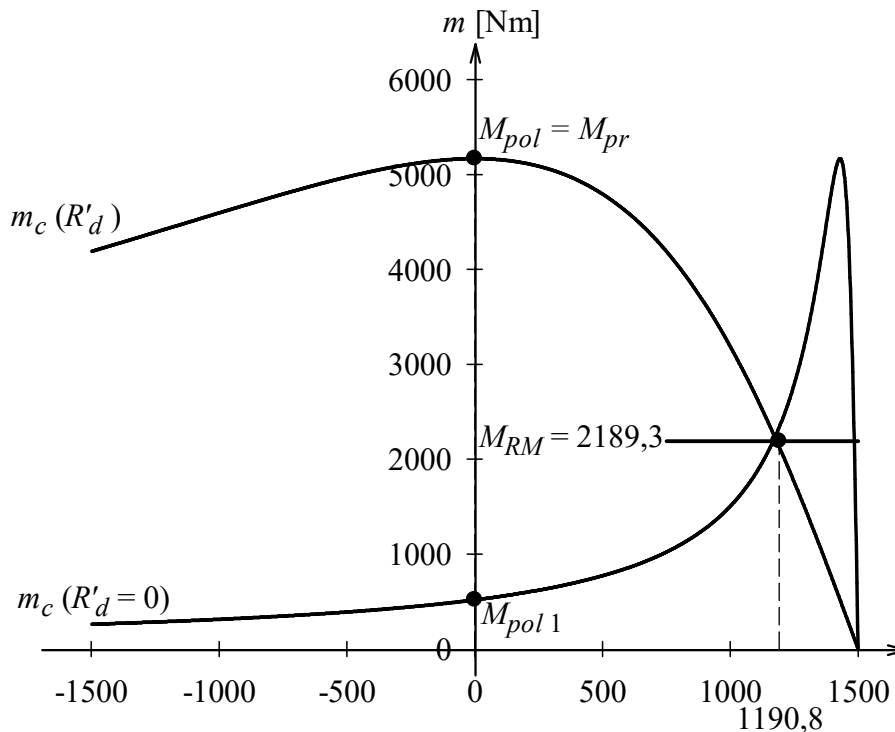
Iz (90.8) se dolazi do kvadratne jednačine po klizanju:

$$427,3812 \cdot s^2 - 2161,2064 \cdot s + 427,3729 = 0, \quad (90.9)$$

čije je jedino fizički prihvatljivo rešenje  $s_1 = 20,615 \%$ . Ovom klizanju odgovara brzina obrtanja od:

$$n_1 = (1 - s_1) \cdot n_s = (1 - 0,20615) \cdot 1500 = 1190,8 \text{ o/min}.$$

d) Na slici 90.1. prikazane su mehaničke karakteristike kliznokolutnog asinhronog motora bez dodatne otpornosti u kolu rotora, sa dodatnom otpornosti u kolu rotora kao i mehanička karakteristika radne mašine. Na mehaničkoj karakteristici su naznačene i radne tačke.



Slika 90.1. Mehaničke karakteristike kliznokolutne asinhronne mašine.