

ZADACI ZA VJEŽBU

1. Trofazni asinkroni dvopolni motor priključen na napon frekvencije 50 Hz rotira brzinom 2900 min^{-1} . Kolika je frekvencija rotorskih struja, te koliko iznose:
- brzina vrtnje okretnog protjecanja rotora u odnosu na rotor,
 - brzina vrtnje okretnog protjecanja rotora u odnosu na stator,
 - brzina vrtnje rotorskog protjecanja u odnosu na statosko?

$$s = \frac{n_s - n}{n_s} = \frac{3000 - 2900}{3000} = 0,0333 \Rightarrow f_2 = sf_1 = 0,0333 \cdot 50 = \boxed{1,667 \text{ Hz}}$$

$$\text{a) } n_{rrot} = n_s - n_{rot} = 3000 - 2900 = \boxed{100 \text{ min}^{-1}}$$

$$\text{b) } n_{rstat} = n_{rrot} + n_{rot} = 100 + 2900 = \boxed{3000 \text{ min}^{-1}}$$

$$\text{c) } n_{rs} = n_{rstat} - n_{sstat} = 3000 - 3000 = \boxed{0 \text{ min}^{-1}}$$

2. Okretno polje trofaznog asinkronog motora na mreži 50 Hz rotira brzinom 600 min^{-1} . Izračunajte:
- broj polova motora,
 - dijametralni korak 1 svitka statorskog namota izražen u geometrijskim stupnjevima.

$$\text{a) } p = \frac{60f}{n} = \frac{60 \cdot 50}{600} = 5 \Rightarrow \boxed{10 \text{ polova}}$$

$$\text{b) } y = \tau_p = \frac{360}{10} = \boxed{36^\circ}$$

3. Objasnite zbog kojih razloga struja magnetiziranja kod standardnih asinkronih motora iznosi 20 - 60 % nazivne struje (ovisno o broju polova), a struja magnetiziranja standardnih transformatora 0,2 - 2 % nazivne struje?

U magnetskom krugu asinkronog motora se nalazi zračni raspor veličinu kojega diktiraju mehanički razlozi. Struja magnetiziranja najviše ovisi o veličini zračnog raspora iz razloga što on ima puno veći magnetski otpor nego željezo. Tog zračnog raspora kod transformatora nema.

4. 8-polni asinkroni stroj na mreži frekvencije 50 Hz vrti se brzinom 825 min^{-1} .
- U kakvom je režimu stroj (motor, generator ili kočnica)?
 - Koliko je klizanje?
 - Kolika je frekvencija rotorskih struja?

$$\text{a) } n_s = \frac{60f}{p} = \frac{60 \cdot 50}{4} = 750 \text{ r/min} , n > n_s \Rightarrow \boxed{\text{generatorski režim}}$$

$$b) s = \frac{n_s - n}{n_s} = \frac{750 - 825}{750} = \boxed{-0,1}$$

$$c) f_s = sf_1 = 0,1 \cdot 50 = \boxed{5 \text{ Hz}} \text{ ili } \boxed{-5 \text{ Hz}}$$

5. Koliko jalove energije potroši mjesečno (30 dana rada po 24 sata) trofazni asinkroni motor: 125 kW, 735 min⁻¹, 237 A, 380 V, 50 Hz, cos $\varphi = 0,84$?

$$E_{jalova} = Qt = \sqrt{3}UI \sin \varphi t = \sqrt{3} \cdot 380 \cdot 237 \cdot \sqrt{1 - 0,84^2} \cdot 30 \cdot 24 = \boxed{60,939 \text{ Mvahr}}$$

6. Trofazni asinkroni motor 45 kW, 380 V, 50 Hz, 87 A, 1465 min⁻¹, cos $\varphi = 0,87$ kod nazivnog opterećenja ima gubitke trenja i ventilacije 1,3 kW. Odredite za nazivno opterećenje:

- snagu okretnog magnetskog polja,
- gubitke u namotu rotora,
- moment na osovini,
- snagu koju motor uzima iz mreže,
- korisnost.

$$s = \frac{n_s - n}{n_s} = \frac{1500 - 1465}{1500} = 0,0233$$

$$a) P_{okr} = \frac{P_2 + P_g}{1 - s} = \frac{45 + 1,3}{1 - 0,0233} = \boxed{47,406 \text{ kW}}$$

$$b) P_{Cu2} = sP_{okr} = 0,0233 \cdot 47,406 = \boxed{1,106 \text{ kW}}$$

$$c) M = \frac{P_2}{n\pi} 30 = \frac{45000}{1465\pi} 30 = \boxed{293,3 \text{ Nm}}$$

$$d) P_1 = \sqrt{3}UI \cos \varphi = \sqrt{3} \cdot 380 \cdot 87 \cdot 0,87 = \boxed{49,818 \text{ kW}}$$

$$e) \eta = \frac{P_2}{P_1} = \frac{45}{49,818} = \boxed{0,9033 \text{ ili } 90,33\%}$$

7. Trofaznom 8-polnom asinkronom motoru priključenom na napon 380 V, 50 Hz, frekvencija rotorskih struja je 60 Hz, a snaga okretnog magnetskog polja je 2,6 kW.

- Koje je to pogonsko stanje stroja?
- Koliko je klizanje?
- Koliki su gubici u rotorskom krugu?
- Odakle se sve namiruju gubici izračunati pod c)?

$$a) \boxed{\text{protustrujno kočenje}}$$

$$b) s = \frac{f_2}{f_1} = \frac{60}{50} = \boxed{1,2}$$

$$c) P_{Cu2} = sP_{okr} = 1,2 \cdot 2,6 = \boxed{3,12 \text{ kW}}$$

$$d) \boxed{\text{Namiruju se s osovine motora i iz mreže.}}$$

8. Trofazni asinkroni motor 55 kW, 980 min⁻¹, 380 V, 102 A, 50 Hz spojen u trokut uzima kod pokretanja struju iz mreže šest puta veću od nazivne i razvija potezni moment 1,8 puta veći od nazivnog. Ako motor prespojimo u zvijezdu i priključimo na istu mrežu:

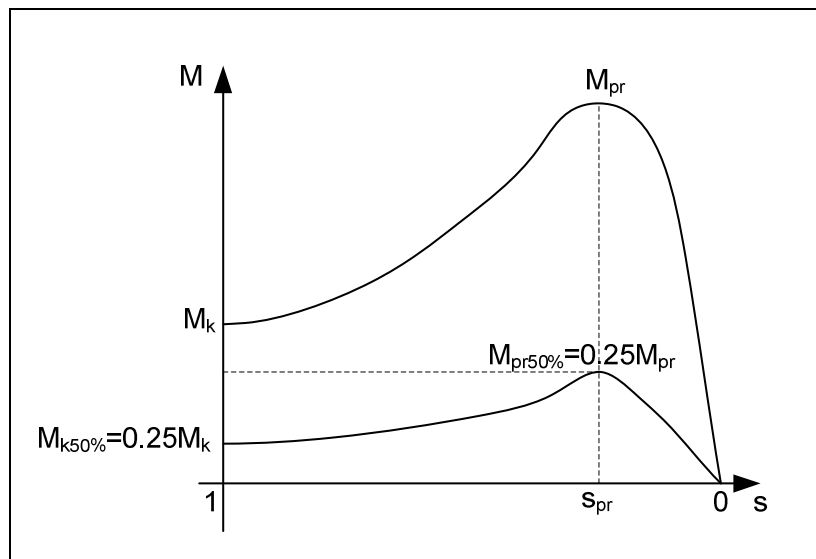
a) koliku struju (u A) će povući iz mreže pri pokretanju?

b) koliki potezni moment će razviti (u Nm)?

$$a) I_{IY} = I_{fY} = I_{f\Delta} \frac{1}{\sqrt{3}} = \frac{I_{l\Delta}}{\sqrt{3}} \frac{1}{\sqrt{3}} = I_{l\Delta} \frac{1}{3} = 6 \cdot 102 \cdot \frac{1}{3} = \boxed{204 \text{ A}}$$

$$b) M_Y = M_{k\Delta} \left(\frac{U_{fY}}{U_{f\Delta}} \right)^2 = \frac{M_{k\Delta}}{3} = \frac{1}{3} \cdot 1,8 \cdot \frac{55000}{980\pi} 30 = \boxed{321,56 \text{ Nm}}$$

9. Skicirajte karakteristiku momenta trofaznog asinkronog motora u ovisnosti o brzini vrtnje i označite potezni i prekretni moment za nazivni napon i frekvenciju! U isti dijagram nacrtajte karakteristiku za slučaj da se napon smanji na 50% nazivne vrijednosti a frekvencija ostaje nepromijenjena.



10. Trofazni 4-polni motor priključen na mrežu 50 Hz i opterećen konstantnim momentom vrti se brzinom 1425 min⁻¹ i uzima iz mreže 10 A. Ako se u rotorske strujne krugove dodaju vanjski otpori, tako da ukupni otpor po fazi bude 6 puta veći, kojom brzinom će se vrtjeti motor i koliku struju će uzimati?

$$s_1 = \frac{n_s - n_1}{n_s} = \frac{1500 - 1425}{1500} = 0,05$$

$$\frac{R_2 + R_{dod}}{s_2} = \frac{R_2}{s_1} \Rightarrow s_2 = s_1 \frac{R_2 + R_{dod}}{R_1} = 0,05 \cdot 6 = 0,3$$

$$n_2 = n_s (1 - s_2) = 1500 (1 - 0,3) = \boxed{1050 \text{ min}^{-1}}$$

$$I_{1Rdod} = I_1 = \boxed{10 \text{ A}}$$

11. Trofazni četveropolni asinkroni kavezni motor ima podatke: 400 V, 3,15 kW, 6,7 A, 50 Hz, $\eta = 84 \%$. 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.

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

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

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

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

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

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

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

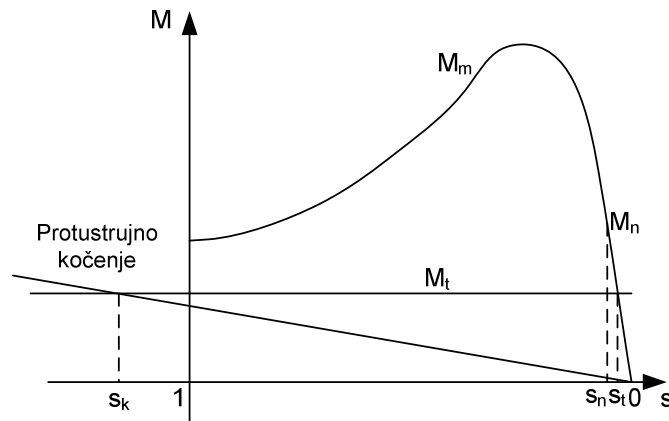
$$n_n = n_s (1 - s_n) = 1500 (1 - 0,0725) = \boxed{1391,2 \text{ min}^{-1}}$$

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

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

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

12. 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 min^{-1} . 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.



$$\left. \begin{aligned} \omega &= \frac{v}{\frac{D}{2}} = \frac{2v}{D} \\ \omega &= \frac{n\pi}{30} \end{aligned} \right\} \Rightarrow n = \frac{30\omega}{\pi} = \frac{60}{\pi} \frac{v}{D} = \frac{60}{\pi} \frac{3}{0,5} = 114,6 \text{ min}^{-1}$$

Klizanje kod kočenja

$$s_k = \frac{n_s - n}{n_s} = 1 - \frac{n}{n_s} = 1 - \left(\frac{-114,6}{1000} \right) = 1,1146$$

$$M_n = \frac{P_{2n}}{n_n \pi} 30 = \frac{36000}{970\pi} 30 = 354,4 \text{ Nm}$$

$$s_n = 1 - \frac{n_n}{n_s} = 1 - \frac{970}{1000} = 0,03$$

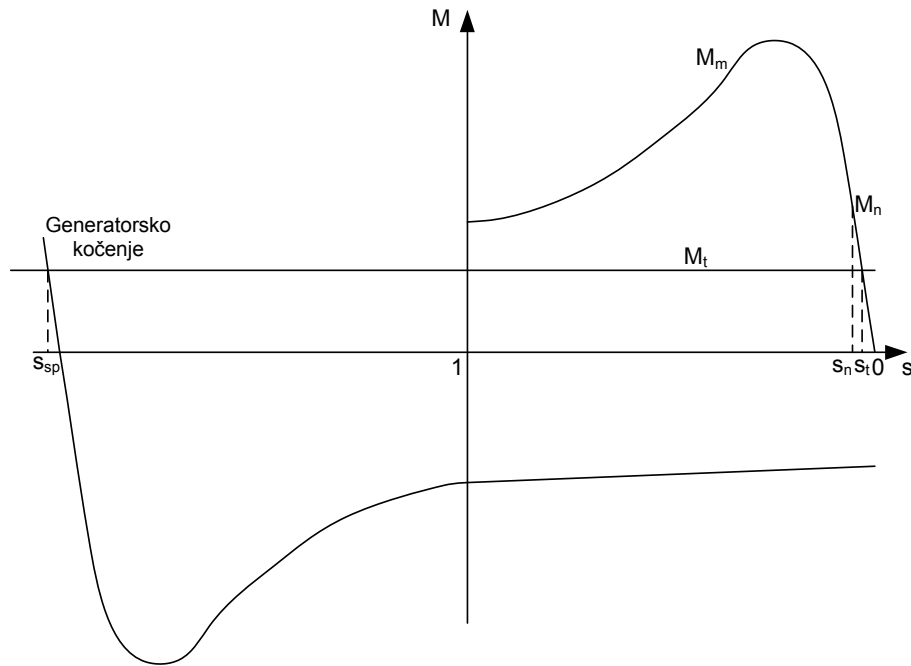
$$M_t = F_t \frac{D}{2} = 1200 \frac{0,5}{2} = 300 \text{ Nm} = 0,846 M_n$$

$$\frac{M_t}{s_t} = \frac{M_n}{s_n} \Rightarrow s_t = s_n \frac{M_t}{M_n} = 0,03 \cdot 0,846 = 0,0254$$

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

$$R_{dod} = \frac{0,11}{2} \left(\frac{1,1146}{0,0254} - 1 \right) = \boxed{2,36 \Omega}$$

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



$$M_n = \frac{P_2}{n_n \pi} 30 = \frac{100000}{970\pi} 30 = 984,5 \text{ Nm}$$

$$s = \frac{n_s - n_n}{n_s} = 1 - \frac{n_n}{n_s} = 1 - \frac{970}{1000} = 0,03$$

$$s_t = 1 - \frac{983}{1000} = 0,017$$

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

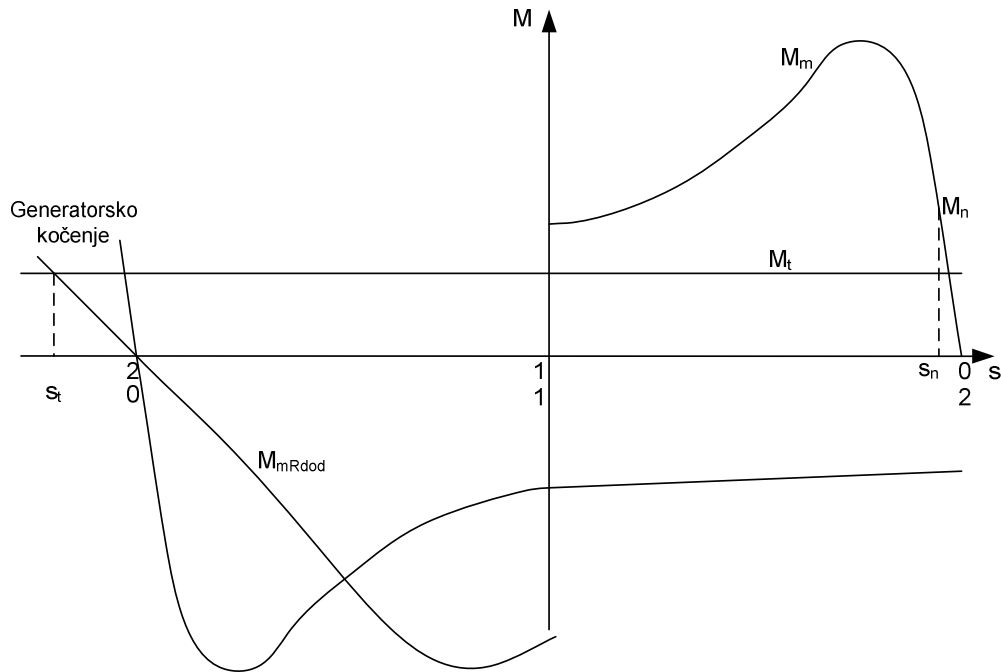
$$\frac{M_n}{s_n} = -\frac{M_{sp}}{s_{sp}} \Rightarrow s_{sp} = -s_n \frac{M_t}{M_n} = -0,03 \frac{557,9}{984,5} = -0,017 \text{ - generatorski režim, negativno klizanje}$$

$$n_{sp} = -n_s (1 - s_{sp}) = -1000 [1 - (-0,017)] = -1017 \text{ min}^{-1}$$

$$v_{sp} = v_d \frac{n_{sp}}{n_t} = 1,2 \frac{-1017}{983} = \boxed{-1,24 \text{ m/s}}$$

14. Trofazni kolutni asinkroni motor radi u režimu asinkronog generatora. U rotorski krug dodan je omski otpor tako da brzina vrtnje generatora iznosi 1250 min^{-1} , 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.



$$n_s = \frac{60f}{p} = \frac{60 \cdot 50}{3} = 1000 \text{ min}^{-1}$$

$$\text{a) } P_2 = M \omega = M \frac{n\pi}{30} = -196 \frac{1250\pi}{30} = \boxed{-25,66 \text{ kW}}$$

$$\text{b) } s_t = \frac{n_s - n}{n_s} = 1 - \frac{n}{n_s} = 1 - \frac{1250}{1000} = \boxed{-0,25}$$

$$\text{c) } P_{Rdod} + P_{Cu2} = s_t P_{okr} = s_t \frac{P_{meh}}{1 - s_t} \doteq s_t \frac{P_2}{1 - s_t} = -0,25 \frac{(-25,66)}{1 - (-0,25)} = \boxed{5,13 \text{ kW}}$$

$$\text{d) } P_{okr} = \frac{P_{meh}}{1 - s_t} \doteq \frac{P_2}{1 - s_t} = -\frac{25,66}{1 - (-0,25)} = \boxed{-20,53 \text{ kW}}$$

$$\text{e) } P_1 = P_{okr} + P_{Cu1} + P_{Fe1} = -20,53 + 5 = \boxed{-15,53 \text{ kW}} \text{ - snaga je negativna jer se predaje u mrežu}$$

15. 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.

$$I_{k0.8} = I_k \frac{0,8U_n}{U_n} = 6I_n \cdot 0,8 = 4,8I_n = \boxed{480\%I_n}$$

$$M_{k0.8} = M_k \left(\frac{0,8U_n}{U_n} \right)^2 = 1,7M_n \cdot 0,8^2 = 1,088M_n = \boxed{108,8\%M_n}$$

16. 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?

Pokretanje u spoju zvijezda:

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

$$I_{kYU_n} = I_{kY0.5U_n} \frac{U_n}{0,5U_n} = 40 \cdot \frac{1}{0,5} = \boxed{80 \text{ A}}$$

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

Nazivna struja u spoju trokut:

$$I_{n\Delta} = \frac{P_2}{\sqrt{3}U_n \cos \varphi \eta} = \frac{20000}{\sqrt{3} \cdot 400 \cdot 0,8 \cdot 0,88} = \boxed{41 \text{ A}}$$

$$\frac{I_{k\Delta}}{I_{n\Delta}} = \frac{240}{41} = \boxed{5,85}$$