

16. Trofazni asinhroni motor, 25kW, 480V, Y, 60Hz,  $p=2$ , ima sledeće parametre IEEE preporučene monofazne zamjenske šeme (rotorski su svedeni na stator):

$$R_1 = 0.103\Omega \quad R_2 = 0.225\Omega \quad X_1 = 1.10\Omega \quad X_2 = 1.13\Omega \quad X_m = 59.4\Omega$$

Gubici usled frikcije i ventilacije se mogu smatrati konstantnim i iznose 265W dok su gubici u gvožđu 220W. Izračunati, pri klizanju od 3%: a) brzinu rotora; b) ulaznu snagu; c) faktor snage; d) snagu obrtnog magnetskog polja; e) Džulove gubitke u namotaju rotora; f) mehaničku snagu koju motor razvija; g) snagu na osovini motora; h) moment na osovini motora; i) stepen iskorišćenja.

**Rešenje:**

a) Sinhrona brzina je,

$$n_s = \frac{60f}{p} = 1800 \frac{\text{obr}}{\text{min}}$$

pa je pri klizanju od 3% brzina rotora:

$$n_r = n_s(1-s) = 1746 \frac{\text{obr}}{\text{min}}$$

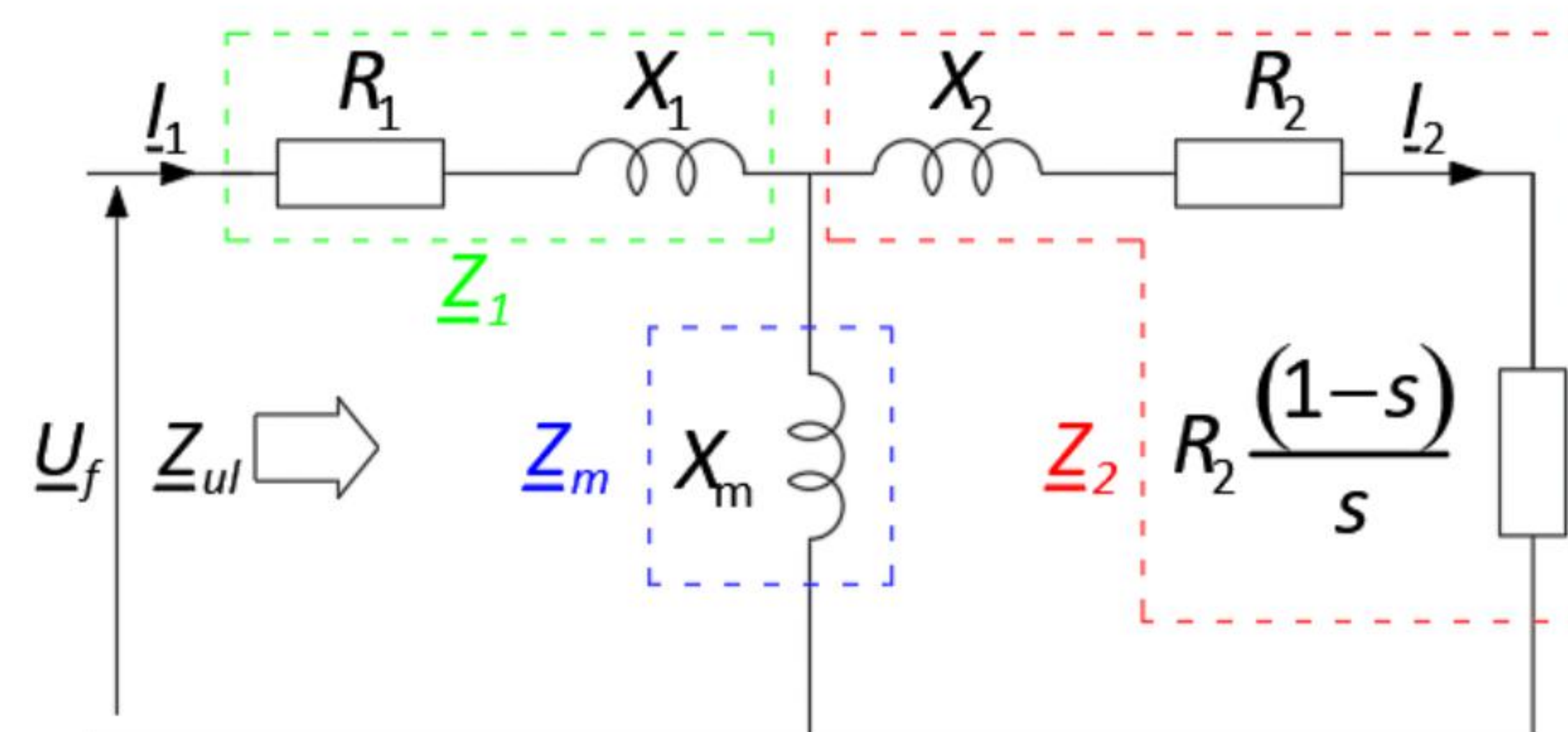
b) Nominalna vrijednost linijskog napona je,

$$U_n = 480 \text{ V}$$

a kako je namotaj statora spregnut u zvijezdu, napon na faznom namotaju je  $\sqrt{3}$  puta manji:

$$U_f = \frac{480}{\sqrt{3}} = 277\text{V}$$

Sa slike 1, za date parametre, mogu se odrediti sljedeće impedanse,



Slika 1. IEEE preporučena monofazna zamjenska šema

$$\underline{Z}_1 = R_1 + jX_1 = (0.103 + j1.10)\Omega$$

$$\underline{Z}_m = jX_m = j59.4\Omega$$

$$\underline{Z}_2 = \frac{R_2}{s} + jX_2 = \frac{0.225}{0.03} + j1.13 = (7.5 + j1.13)\Omega$$

pa je ulazna impedansa:

$$\underline{Z}_{ul} = \underline{Z}_1 + \frac{\underline{Z}_m \underline{Z}_2}{\underline{Z}_m + \underline{Z}_2} = (7.22 + j3.09)\Omega$$



Sada, kada je poznata ulazna impedansa, može se izračunati ulazna struja, fazna struja statora,

$$I_1 = \frac{U_f}{Z_{ul}} = 32.45 - j13.9 = 35.3 \angle -23.18^\circ \text{ A}$$

a zatim, iz strujnog djelitelja i struja u kolu rotora:

$$I_2 = \frac{Z_m}{Z_m + Z_2} I_1 = 33.03 - j9.55 = 34.38 \angle -16.12^\circ \text{ A}$$

Ulazna snaga je realni dio kompleksne snage,

$$\underline{S}_1 = 3 \underline{U}_1 I_1^* = 3 \cdot 277 \cdot (32.45 + j13.9) = (26.980 + j11.554) \text{ kVA}$$

$$P_1 = 26.98 \text{ kW}$$

c) Kako je pri računanju ulazne struje fazni napon uzet po faznoj osi, dakle, sa faznim stavom nula, fazni stav struje je ugao  $\varphi$  koji figuriše u faktoru snage. Dakle, faktor snage motora je,

$$\cos \varphi = \cos(23.18^\circ) = 0.919 \text{ ind}$$

i induktivne je prirode jer napon prednjači struji.

d) Oduzimajući snagu Džulovih gubitaka u namotaju statora od ulazne snage, dobija se obrtna snaga:

$$P_{obr} = P_1 - P_{Cu1} = P_1 - 3R_1 I_1^2 = 26980 - 3 \cdot 0.103 \cdot 35.3^2 = 26.595 \text{ kW}$$

e) Džulovi gubici u namotaju rotora se mogu dobiti na dva načina, ili iz ekvivalentne šeme,

$$P_{Cu2} = 3R_2 I_2^2 = 3 \cdot 0.225 \cdot 34.38^2 = 797.84 \text{ W}$$

ili iz sledećeg odnosa:

$$P_{Cu2} = s \cdot P_{obr} = 0.03 \cdot 26595 = 797.85 \text{ W}$$

f) Mehanička snaga koju motor razvija se takođe može odrediti na dva načina, ili iz zamjenske šeme,

$$P_{meh} = 3R_2 \frac{1-s}{s} I_2^2 = 3 \cdot 0.225 \cdot \frac{1-0.03}{0.03} 34.38^2 = 25.797 \text{ kW}$$



ili iz sledećeg odnosa:

$$P_{meh} = (1-s) \cdot P_{obr} = (1-0.03) \cdot 26595 = 25.797 \text{ kW}$$

g) Snaga na osovini se dobija kada se od razvijene mehaničke snage oduzmu gubici usled frikcije i ventilacije i gubici u gvožđu:

$$P_{os} = P_{meh} - P_{Fe} - P_{fv} = 25.797 - 0.22 - 0.265 = 25.312 \text{ kW}$$

h) Moment na osovini motora je:

$$M_{os} = \frac{P_{os}}{\frac{2\pi}{n_r}} = 9.55 \frac{P_{os}}{n_r} = 138.45 \text{ Nm}$$

i) Stepen iskorišćenja motora je odnos korisne i uložene snage, i iznosi,

$$\eta = \frac{P_{os}}{P_1} = \frac{25312}{26980} = 0.9382$$

odnosno 93.82%.

**17.** Trofazni asinhroni motor, 15kW, 230V, Y, 60Hz,  $p=2$ , razvija nominalni obrtni moment pri klizanju 3.5% i pri nominalnom naponu i učestanosti. Rotacioni gubici i gubici u gvožđu se mogu zanemariti. Parametri zamjenske šeme (rotorski su svedeni na stator) po fazi, su:

$$R_1 = 0.21 \Omega \quad X_1 = X_2 = 0.26 \Omega \quad X_m = 10.1 \Omega$$

Odrediti maksimalni obrtni moment, klizanje pri kom taj moment nastaje kao i polazni obrtni moment pri nominalnom naponu i učestanosti.

**Rešenje:**

$$U_n = 230 \text{ V}, \quad U_f = \frac{230}{\sqrt{3}} \text{ V}, \quad s_n = 0.035, \quad n_s = \frac{60f}{p} = 1800 \frac{\text{obr}}{\text{min}}$$

$$n_r = (1-s)n_s = 1737 \frac{\text{obr}}{\text{min}}$$

Kako je naglašeno u tekstu zadatka, gubici u gvožđu i gubici usljed frikcije i ventilacije se zanemaruju. Time se pretpostavlja da je snaga na osovini isto što i razvijena elektromagnetska snaga koja se u motoru razvija. Dakle, nominalna snaga koja je data kao podatak je unutrašnja mehanička snaga jednaka snazi na osovini motora pri nominalnom klizanju koje je, takođe, poznato:



$$P_{meh} = P_n = 15 \text{ kW}$$

$$P_{obr} = \frac{P_{meh}}{(1-s_n)} = 15.544 \text{ kW}$$

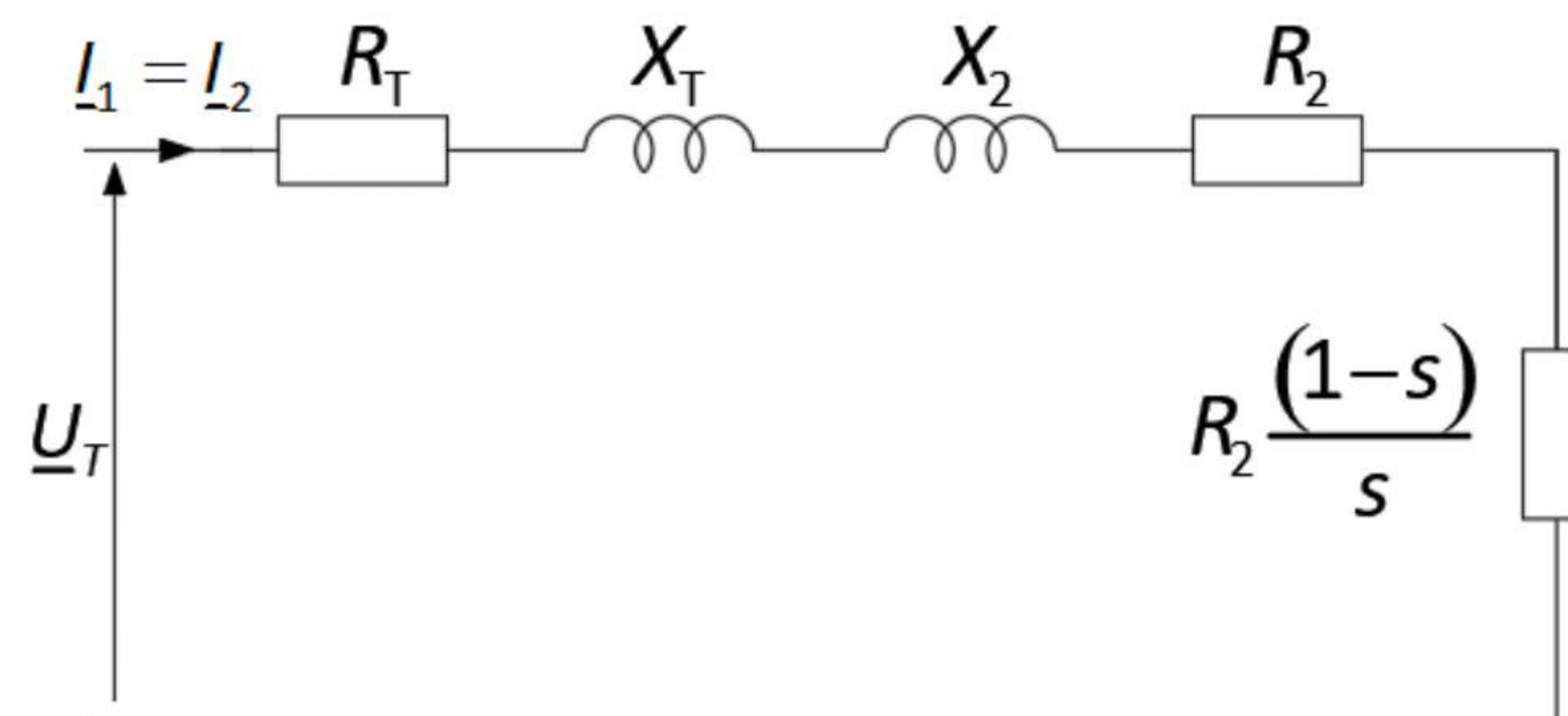
$$P_{Cu2} = s_n P_{obr} = 544 \text{ W}$$

Zanemarivanjem gubitaka usled frikcije i ventilacije i gubitaka u gvožđu, razvijeni elektromagnetski moment se može dobiti ili kao odnos mehaničke snage motora i brzine rotora ili kao odnos snage obrtnog magnetskog polja i sinhronne brzine:

$$M_{em} = \frac{P_{obr}}{\omega_s} = \frac{P_{meh}}{\omega_r} = 9.55 \frac{P_{obr}}{n_s} = 82.46 \text{ Nm}$$

U nastavku se koristi aproksimativna zamjenska šema asinhronog motora zasnovana na Teveninovom generatoru, slika 2. Parametri pomenute šeme se iz poznatih parametara IEEE preporučene šeme dobijaju na sljedeći način:

$$K_T = \frac{X_m}{X_1 + X_m} = 0.9749, \quad U_T = K_T U_f = 129.458 \text{ V}, \quad R_T = K_T^2 R_1 = 0.1996 \text{ } \Omega, \quad X_T = K_T X_1 = 0.2535 \text{ } \Omega$$



Slika 2. Aproksimativna zamjenska šema asinhronog motora zasnovana na Teveninovom generatoru

Kod ove šeme gubi se podatak o struji magnećenja pa važi da je  $I_1 = I_2$ . Prateći šemu sa slike 2. može se doći do izraza za  $M_{em}$  na sljedeći način:

$$I_2 = \frac{U_T}{\sqrt{\left(R_T + \frac{R_2}{s}\right)^2 + (X_T + X_2)^2}}$$

$$P_{meh} = 3R_2 \frac{(1-s)}{s} I_2^2$$

$$M_{em} = \frac{P_{meh}}{\omega_r} = \frac{P_{meh}}{\omega_s (1-s)}$$



$$M_{em} = \frac{3}{\omega_s} \frac{U_T^2}{\left(R_T + \frac{R_2}{s}\right)^2 + (X_T + X_2)^2} \frac{R_2}{s}$$

Za nominalno klizanje dobija se izraz za već određeni nominalni interni elektromagnetski momenat,

$$M_{emn} = \frac{3}{\omega_s} \frac{U_T^2}{\left(R_T + \frac{R_2}{s_n}\right)^2 + (X_T + X_2)^2} \frac{R_2}{s_n}$$

a vrijednost  $M_{emn}$  je već određena. Ono što je nepoznato jeste vrijednost otpornosti  $R_2$  a ona se može izračunati iz prethodnog izraza. Iz prethodnog izraza dobija se kvadratna jednačina po  $R_2$ ,

$$\frac{M_{emn} \omega_s}{s_n} R_2^2 + (M_{emn} \omega_s 2R_T - 3U_T^2) R_2 + M_{emn} \omega_s s_n (R_T^2 + (X_T + X_2)^2) = 0$$

$$a = \frac{M_{emn} \omega_s}{s_n}$$

$$b = M_{emn} \omega_s 2R_T - 3U_T^2$$

$$c = M_{emn} \omega_s s_n (R_T^2 + (X_T + X_2)^2)$$

$$R_2 = \frac{-b \pm \sqrt{b^2 - 4ac}}{2a}$$

$$R_{21} = 0.0953 \Omega$$

$$R_{22} = 0.0039 \Omega$$

Bira se prvo rješenje jer  $R_2$  (otpornost rotora svedena na stator) treba biti približne vrijednosti otpornosti statora. Dakle:

$$R_2 = 0.0953 \Omega$$

Izraz za prevalno klizanje (pogledati materijal sa predavanja) kada je poznata vrijednost otpornosti  $R_2$  je sljedeći:

$$s_{pr} = \frac{R_2}{\sqrt{R_T^2 + (X_T + X_2)^2}} = 0.173$$

Sada se može odrediti vrijednost prevalnog (maksimalnog) elektromagnetskog momenta (pogledati materijal sa predavanja):

$$M_{pr} = \frac{3}{\omega_s} \frac{U_T^2}{\left(R_T + \frac{R_2}{s_{pr}}\right)^2 + (X_T + X_2)^2} \frac{R_2}{s_{pr}} = 177.7 \text{ Nm}$$

Vrijednost polaznog elektromagnetskog momenta, kom odgovara klizanje  $s_{pol} = 1$ , je (pogledati materijal sa predavanja):

$$M_{pol} = \frac{3}{\omega_s} \frac{U_T^2}{(R_T + R_2)^2 + (X_T + X_2)^2} R_2 = 72.52 \text{ Nm}$$

**18.** Trofazni asinhroni motor, pri nominalnom naponu i učestanosti ima polazni moment 135% i prevalni moment 220% u odnosu na nominalni moment. Zanemarujući otpornost namotaja statora i rotacione gubitke i smatrajući otpornost namotaja rotora konstantnom, odrediti: a) prevalno klizanje; b) nominalno klizanje; c) polaznu struju motora, u procentima, u odnosu na nominalnu struju.

**Rešenje:**

a) Zanemarivanjem otpornosti faznog namotaja statora može se izvesti sledeći izraz, poznat kao Klosov obrazac:

$$\frac{M}{M_{pr}} = \frac{2}{\frac{s}{s_{pr}} + \frac{s_{pr}}{s}}$$

U ovom zadatku poznat je odnos polaznog i prevalnog momenta,

$$\frac{M_{pol}}{M_{pr}} = \frac{1.35}{2.2}$$

a kako je  $s_{pol} = 1$ , iz Klosovog obrasca se dobija kvadratna jednačina po prevalnom klizanju:

$$\frac{M_{pol}}{M_{pr}} = \frac{2}{\frac{s_{pol}}{s_{pr}} + \frac{s_{pr}}{s_{pol}}}$$



$$\frac{M_{pol}}{M_{pr}s_{pol}}s_{pr}^2 - 2s_{pr} + \frac{M_{pol}s_{pol}}{M_{pr}} = 0$$

$$a = \frac{M_{pol}}{M_{pr}s_{pol}}, \quad b = -2, \quad c = \frac{M_{pol}s_{pol}}{M_{pr}}$$

$$s_{pr} = \frac{-b \pm \sqrt{b^2 - 4ac}}{2a}$$

$$s_{pr1} = 0.3429, \quad s_{pr2} = 2.9164$$

Bira se prvo rješenje jer ono odgovara motornom režimu rada:

$$s_{pr} = 0.3429$$

b) U zadatku je dat i odnos nominalnog i prevalnog elektromagnetskog momenta,

$$\frac{M_n}{M_{pr}} = \frac{1}{2.2}$$

a prevalno klizanje je već određeno, pa se ponovo iz Klossovog obrasca dobija kvadratna jednačina po nominalnom klizanju,

$$\frac{M_n}{M_{pr}} = \frac{2}{\frac{s_n + s_{pr}}{s_{pr}} + \frac{s_{pr}}{s_n}}$$

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

$$a = \frac{M_n}{M_{pr}s_{pr}}, \quad b = -2, \quad c = \frac{M_ns_{pr}}{M_{pr}}$$

$$s_n = \frac{-b \pm \sqrt{b^2 - 4ac}}{2a}$$

$$s_{n1} = 0.0824, \quad s_{n2} = 1.4263$$

i bira se prvo rješenje jer odgovara motornom radnom režimu:

$$s_n = 0.0824$$

c) Kada je zanemarena otpornost faznog namotaja statora, važi aproksimativni izraz za prevalno klizanje,

$$s_{pr} = \frac{R_2}{X_T + X_2}$$

iz kog slijedi:

$$X_T + X_2 = \frac{R_2}{s_{pr}}$$

Izraz za struju motora u zavisnosti od klizanja, uzimajući prethodno u obzir i Teveninovu zamjensku šemu, je:

$$I_1 = \frac{U_T}{\sqrt{\left(\frac{R_2}{s}\right)^2 + \left(\frac{R_2}{s_{pr}}\right)^2}} = \frac{U_T}{R_2 \sqrt{\frac{1}{s^2} + \frac{1}{s_{pr}^2}}}$$

Odnos polazne i nominalne struje je:

$$\frac{I_{pol}}{I_n} = \frac{\frac{U_T}{R_2 \sqrt{\frac{1}{s_{pol}^2} + \frac{1}{s_{pr}^2}}}}{\frac{U_T}{R_2 \sqrt{\frac{1}{s_n^2} + \frac{1}{s_{pr}^2}}}} = \frac{\sqrt{\frac{1}{s_n^2} + \frac{1}{s_{pr}^2}}}{\sqrt{\frac{1}{s_{pol}^2} + \frac{1}{s_{pr}^2}}} = 4$$

**19.** Trofazni asinhroni motor, 500kW, 2400V,  $p=2$ , 60Hz, sprega Y, ima sledeće parametre monofazne zamjenske šeme (parametri rotora su svedeni na stator):

$$R_1 = 0.122 \Omega \quad R_2 = 0.317 \Omega \quad X_1 = 1.364 \Omega \quad X_2 = 1.32 \Omega \quad X_m = 45.8 \Omega$$

On razvija nominalnu snagu na osovini pri klizanju 3.35% kada mu je stepen iskorišćenja 94%. Ova mašina treba da radi kao generator, pokretan vjetroturbinom. Pri tom je priključena na krutu električnu mrežu napona 2400V.

- iz datih podataka izračunati zbir rotacionih i gubitaka u gvožđu pri nominalnom opterećenju;
- za slučaj kada vjetroturbina pogoni rotor generatora brzinom kojoj odgovara klizanje  $s=-3.2\%$ , izračunati: generisanu električnu snagu; faktor snage; stepen iskorišćenja generatora.

**Rešenje:**

Nominalna vrijednost linijskog napona je,



$$U_n = 2400 \text{ V}$$

a kako su namotaji statora vezani u zvijezdu, fazni napona je  $\sqrt{3}$  puta manji:

$$U_f = \frac{2400}{\sqrt{3}} \text{ V}$$

a) U motornom režimu rada je:

$$s = 0.035, \quad n_s = \frac{60f}{p} = 1800 \frac{\text{obr}}{\text{min}}, \quad n_r = n_s(1-s) = 1739.7 \frac{\text{obr}}{\text{min}}$$

$$\underline{Z}_1 = R_1 + jX_1, \quad \underline{Z}_m = jX_m, \quad \underline{Z}_2 = \frac{R_2}{s} + jX_2$$

$$\underline{Z}_{ul} = \underline{Z}_1 + \frac{\underline{Z}_2 \underline{Z}_m}{\underline{Z}_2 + \underline{Z}_m} = (8.715 + j4.373) \Omega$$

$$\underline{I}_1 = \frac{U_f}{\underline{Z}_{ul}} = 127 - j63.73 \text{ A}, \quad \underline{I}_2 = \frac{\underline{Z}_m}{\underline{Z}_m + \underline{Z}_2} \underline{I}_1 = 130.63 - j35.71 \text{ A}$$

$$I_1 = |\underline{I}_1| = 142.1 \text{ A}, \quad I_2 = |\underline{I}_2| = 135.42 \text{ A}$$

$$P_{meh} = 3R_2 \frac{(1-s)}{s} I_2^2 = 503.16 \text{ kW}, \quad P_{fv} = P_{meh} - P_n = 3.16 \text{ kW}$$

$$P_{Cu1} = 3R_1 I_1^2 = 7.39 \text{ kW}, \quad P_{Cu2} = 3R_2 I_2^2 = 17.44 \text{ kW}$$

$$P_{obr} = \frac{P_{Cu2}}{s} = 520.6 \text{ kW}$$

$$P_1 = \frac{P_n}{\eta} = 531.91 \text{ kW}$$

$$P_{Fe} = P_1 - P_{obr} - P_{Cu1} = 3.926 \text{ kW}$$

b) U generatorskom režimu rada je:

$$s = -0.032, \quad n_r = (1-s)n_s = 1857.6 \frac{\text{obr}}{\text{min}}$$

$$\underline{Z}_1 = R_1 + jX_1, \quad \underline{Z}_m = jX_m, \quad \underline{Z}_2 = \frac{R_2}{s} + jX_2$$

$$\underline{Z}_{ul} = \underline{Z}_1 + \frac{\underline{Z}_2 \underline{Z}_m}{\underline{Z}_2 + \underline{Z}_m} = -8.84 + j4.53 \Omega$$



$$I_{-1} = \frac{U_f}{Z_{ul}} = -124.12 - j63.62 = 139.5 \angle -152.87^\circ \text{ A}$$

$$I_{-2} = \frac{Z_m}{Z_m + Z_2} I_{-1} = -128 - j34.93 = 132.67 \angle -164.73^\circ \text{ A}$$

Kompleksna snaga na mjestu gdje je mašina priključena na električnu mrežu je,

$$\underline{S}_1 = 3U_1 I_{-1}^* = P_1 + jQ_1 = (-516 + j264.5) \text{ kVA}$$

odakle se vidi da generator u mrežu isporučuje aktivnu snagu od 516kW,

$$P_1 = \Re\{\underline{S}\} = -516 \text{ kW}$$

dok istovremeno iz električne mreže preuzima reaktivnu snagu u iznosu od:

$$Q_1 = \Im\{\underline{S}\} = 264.5 \text{ kVAr}$$

Ono što treba uočiti je sledeće: u generatorskom režimu rada imaginarna komponenta struje, kako statora tako i rotora, pri približnim klizanjima se ne mijenja po svom karakteru, tj. znaku. Sa druge strane, realne, aktivne komponente struje su promijenile svoj znak. Struja u generatorskom režimu rada kasni za naponom za ugao  $152.87^\circ$ , tj.  $\varphi=152.87^\circ$  pa faktor snage dobija negativnu vrijednost:

$$\cos\varphi = -0.89$$

Ako se gubici u gvožđu i rotacioni gubici mogu smatrati stalnim i jednakim onim u motornom režimu rada, snaga vjetroturbine je od izlazne aktivne snaga veća za Džulove gubitke u statoru i rotoru, gubitke u gvožđu i rotacione gubitke:

$$P_{meh} = P_1 + P_{Cu1} + P_{Fe} + P_{Cu2} + P_{fv}$$

$$P_{meh} = P_1 + 3R_1 I_1^2 + P_{Fe} + 3R_1 I_1^2 + P_{fv}$$

$$P_{meh} = 516 \text{ kW} + 3 \cdot 0.122 \cdot 139.5^2 + 3.926 \text{ kW} + 3 \cdot 0.317 \cdot 132.67^2 + 3.16 \text{ kW}$$

$$P_{meh} = 546.95 \text{ kW}$$

Stepen iskorišćenja generatora u ovom radnom režimu je:

$$\eta = \frac{P_1}{P_{meh}} = \frac{516}{546.95} = 0.943$$



20. Trofazni kavezni asinhroni motor, 25kW, 230V, 60Hz, radi pri nominalnom naponu i učestanosti. Džulovi gubici u rotoru pri prevalnom momentu su mu 9 puta veći od onih pri nominalnom opterećenju. Klizanje pri nominalnom opterećenju mu je 2.3%. Otpornost namotaja statora i rotacioni gubici se mogu zanemariti a otpornost i rasipna reaktansa rotora se mogu smatrati stalnim. Izražavajući moment u jediničnim vrijednostima, uzimajući za bazu nominalnu vrijednost momenta, izračunati: a) prevalno klizanje; b) prevalni moment; c) polazni moment.

**Rešenje:**

$$s_n = 0.023$$

$$\frac{P_{Cu2pr}}{P_{Cu2n}} = \frac{3R_2 I_{2pr}^2}{3R_2 I_{2n}^2} = \frac{I_{2pr}^2}{I_{2n}^2} = 9$$

$$I_{2n} = \frac{U_T}{\sqrt{\left(\frac{R_2}{s_n}\right)^2 + \left(\frac{R_2}{s_{pr}}\right)^2}} = \frac{U_T}{R_2 \sqrt{\frac{1}{s_n^2} + \frac{1}{s_{pr}^2}}}$$

$$I_{2pr} = \frac{U_T}{\sqrt{\left(\frac{R_2}{s_{pr}}\right)^2 + \left(\frac{R_2}{s_{pr}}\right)^2}} = \frac{U_T}{R_2 \sqrt{\frac{1}{s_{pr}^2} + \frac{1}{s_{pr}^2}}}$$

Dijeljenjem prethodna dva izraza i njihovim sređivanjem dobija se sljedeći izraz za prevalno klizanje:

$$s_{pr} = \sqrt{\frac{1 - 2 \frac{I_{2pr}}{I_{2n}}}{-\frac{1}{s_n^2}}} = 0.0948$$

Iz Klosovog obrasca je:

$$\frac{M_{pr}}{M_n} = \frac{\frac{s_n + s_{pr}}{s_{pr} s_n}}{2} = 2.183$$

$$\frac{M_{pol}}{M_{pr}} = \frac{M_{pol}}{2.183 M_n} = \frac{2}{\frac{s_{pol}}{s_{pr}} + \frac{s_{pr}}{s_{pol}}}$$



$$\frac{M_{pol}}{M_n} = 2.183 \frac{2}{\frac{s_{pol}}{s_{pr}} + \frac{s_{pr}}{s_{pol}}} = 0.41$$

**21.** Nominalno klizanje trofaznog kaveznog asinhronog motora je  $s_n=3.7\%$ . Polazna struja mu je 6 puta veća od nominalne. Otpornost i rasipna reaktansa rotora su nezavisne od rotorske učestanosti a otpornost namotaja statora i rotacioni gubici se mogu zanemariti. Izražavajući momenat u jediničnim vrijednostima, uzimajući za bazu nominalnu vrijednost momenta, izračunati: a) polazni momenat; b) prevalni momenat i prevalno klizanje;

**Rešenje:**

$$s_n = 0.037, \quad \frac{I_{2pol}}{I_{2n}} = 6$$

$$I_{2n} = \frac{U_T}{\sqrt{\left(\frac{R_2}{s_n}\right)^2 + \left(\frac{R_2}{s_{pr}}\right)^2}} = \frac{U_T}{R_2 \sqrt{\frac{1}{s_n^2} + \frac{1}{s_{pr}^2}}}$$

$$I_{2pol} = \frac{U_T}{\sqrt{\left(\frac{R_2}{s_{pol}}\right)^2 + \left(\frac{R_2}{s_{pr}}\right)^2}} = \frac{U_T}{R_2 \sqrt{\frac{1}{s_{pol}^2} + \frac{1}{s_{pr}^2}}}$$

Dijeljenjem prethodna dva izraza i njihovim sređivanjem, dobija se sljedeći izraz za prevalno klizanje:

$$s_{pr} = \frac{1}{\sqrt{\frac{\frac{1}{s_n^2} - \frac{I_{2pol}}{I_{2n}} \frac{1}{s_{pol}^2}}{\left(\frac{I_{2pol}}{I_{2n}}\right)^2 - 1}}} = 0.2245$$

$$\frac{M_{pr}}{M_n} = \frac{\frac{s_n}{s_{pr}} + \frac{s_{pr}}{s_n}}{2} = 3.12$$



$$\frac{M_{pol}}{M_n} = 3.12 \frac{2}{\frac{s_{pol}}{s_{pr}} + \frac{s_{pr}}{s_{pol}}} = 1.33$$

**24.** Trofazni šestopolni kavezni asinhroni motor, 230V, 60Hz, razvija maksimalni moment od 288% pri klizanju 15% i pri nominalnom naponu i učestanosti. Ako se zanemari otpornost namotaja statora, izračunati maksimalni moment koji ovaj motor razvija pri naponu od 190V i učestanosti od 50Hz. Pri kojoj će se brzini razviti maksimalni moment pod ovim okolnostima?

**Rešenje:**

$$s_{pr1} = 0.015, \quad U_1 = 230 \text{ V}, \quad f_1 = 60 \text{ Hz}$$

$$U_2 = 190 \text{ V}, \quad f_2 = 50 \text{ Hz}$$

$$p = 3, \quad \frac{M_{pr1}}{M_n} = 2.88$$

$$n_{s1} = \frac{60f_1}{p} = 1200 \frac{\text{obr}}{\text{min}}$$

$$\omega_s = 125.66 \frac{\text{rad}}{\text{s}}$$

$$n_{s2} = \frac{60f_2}{p} = 1000 \frac{\text{obr}}{\text{min}}$$

Ako se zanemari otpornost namotaja statora, prevalni elektromagnetski moment je proporcionalan kvadratu količnika napona i frekvencije (materijal sa predavanja),

$$M_{pr} \sim \left( \frac{U_T}{f} \right)^2$$

pa važi sljedeće:

$$\frac{M_{pr2}}{M_{pr1}} = \frac{\left( \frac{U_2}{f_2} \right)^2}{\left( \frac{U_1}{f_1} \right)^2} = 0.983$$

$$M_{pr2} = 0.983 \cdot M_{pr1} = 0.983 \cdot (2.88 \cdot M_n) = 2.83M_n$$

Iz Klosovog obrasca dobija se nominalno klizanje za prvi slučaj napajanja,



$$\frac{M_n}{M_{pr1}} = \frac{2}{\frac{s_{n1}}{s_{pr1}} + \frac{s_{pr1}}{s_{n1}}}$$

$$\frac{M_n}{M_{pr1} s_{pr1}} s_{n1}^2 - 2s_{n1} + \frac{M_n}{M_{pr1}} s_{pr1} = 0$$

Zamjenom brojnih vrijednosti i rešavanjem gornje jednačine dobija se nominalno klizanje i brzina rotora:

$$s_{n1} = 0.0269$$

$$n_{n1} = (1 - s_{n1}) n_{s1} = 1167.7 \frac{\text{obr}}{\text{min}}$$

Približno linearni djelovi momentnih karakteristika za ova dva različita slučaja napajanja mogu se smatrati paralelnim u oblasti malih klizanja (vidjeti primjer u materijalu sa predavanja) pa važi sledeća proporcija iz koje se može odrediti brzina rotora pri nominalnom opterećenju za drugi slučaj napajanja:

$$\frac{M_n}{n_{s1} - n_{r1}} = \frac{M_n}{n_{s2} - n_{r2}}$$

$$n_{r2} = n_{s2} - n_{s1} + n_{r1} = 967.75 \frac{\text{obr}}{\text{min}}$$

$$s_{n2} = \frac{n_{s2} - n_{r2}}{n_{s2}} = 0.0323$$

Iz Klosovog obrasca dobija se kvadratna jednačina po  $s_{pr2}$

$$\frac{M_n}{M_{pr2}} = \frac{2}{\frac{s_{n2}}{s_{pr2}} + \frac{s_{pr2}}{s_{n2}}}$$

$$\frac{M_n}{M_{pr2} s_{n2}} s_{pr2}^2 - 2s_{pr2} + \frac{M_n}{M_{pr2}} s_{n2} = 0$$

čijim se rešavanjem dolazi do sledećeg rezultata:

$$s_{pr2} = 0.1767$$



$$n_{pr2} = (1 - s_{pr2}) n_{s2} = 823.33 \frac{obr}{min}$$