

Asinhronne mašine:

1. zadatak

Trofazni četvoropolni kliznokolutni asinhroni motor sa namotajima statora vezanim u spregu trougao, priključen je na mrežu napona 400 V i frekvencije 50 Hz. Nominalni moment motora iznosi 110 Nm, nominalna preopterećenost je 2,2, a prevalno klizanje 28,56%. Otpornost rotorskog namotaja (po fazi; stvarni otpor rotora) iznosi 0,15 Ω . Koliki je koeficijent transformacije ovog motora? Napomena: namotaj rotora kliznokolutnog motora je spregnut u zvezdu. Zanimarite otpornost statora i struju magnetnog enja.

2. zadatak

Trofazni šestopolni kliznokolutni asinhroni motor, priključen je na mrežu napona 400 V i frekvencije 50 Hz. Otpornost i reaktansa rasipanja rotorskog namotaja (po fazi) iznose 0,1 Ω i 0,7 Ω , redom. Sprega namotaja statora i rotora je zvezda, a koeficijent transformacije je 2. Motor pokreće radnu mašinu i posle vrlo kratkotrajnog isključenja, vrći se košenje "reverziranjem" (promenom smer obrtnog polja; promenom dve faze) uz uključen dodatni rotorski otpor od 1 Ω (po fazi). Ako je brzina obrtanja kod početka košenja bila 900 ob/min, odgovorite na sledeća pitanja: a.) Koliko iznosi statorska struja košenja (odmah nakon promene dve faze)? b.) Koliko tada iznosi moment košenja? c.) Koliko pri tome iznose gubici u rotoru? Napomena: date otpornosti i reaktanse u kolu rotora su stvarne, a ne svedene vrednosti na stator. Zanimarite otpornost statora i struju magnetnog enja.

3. zadatak

Trofazni asinhroni motor ima sledeće parametre ekvivalentne šeme svedene na stator:

$$R_s=0,0139 [\Omega], \quad R'_r=0,036 [\Omega], \quad X_{\sigma s}=0,155 [\Omega], \quad X'_{\sigma r}=0,15 [\Omega], \quad X_m=5,2 [\Omega].$$

Motor razvija nominalni moment na vratilu pri klizanju od 4 %. Priključen je na mrežu napona 600 V. Na osnovu datih podataka izračunati gubitke u gvoštlu i gubitke usled trenja i ventilacije u motorskom režimu pri nazivnom opterećenju. Podaci o motoru (natpisna pločica): 315 kW, 600 V, 60 Hz, 2p = 6, sprega Y.

Sinhronne mašine:

1. zadatak

Sinhroni motor sa cilindričnim rotorom ima sledeće parametre: 380 V, 50 Hz, Y, p=1, $X_s=1,5 \beta$, $R_{\sigma 0}$, $\beta=0,98 \cos \theta$. Može se pretpostaviti da elektromotorna sila praznog hoda linearno zavisi od pobudne struje: $E_{0f}[V]=100I_f[A]$. Opterećenje na vratilu je konstantno i iznosi 31,8 Nm. Kolika treba da bude pobudna struja sinhronog motora, da bi motor u mrežu isporučivao reaktivnu snagu od 20 kVAr?

2. zadatak

Trofazni sinhroni turbogenerator napona 11 kV, učestanosti 50 Hz, sprege Y i sinhronne reaktanse 8 Ω , daje potrošačima struju 200 A pri jedinilnom faktoru snage.

- Ako se ne menja dovod pare u turbinu, a pobudna struja poveća za 30%, odrediti novu vrednost struje i faktor snage.
- Ako se postepeno poveća dovod pare u turbinu, a pobudna struja zadrži na vrednosti iz režima definisanog u delu zadatka pod a), odrediti snagu, struju i faktor snage u trenutku ispada mašine iz sinhronizma.

Nacrtati vektorske dijagrame za oba režima rada. Gubitke i zasićenje zanemariti.

3. zadatak

Sinhroni turbogenerator radi na izolovanoj mreži i napaja trofazni simetrični omški potrošač čija je otpornost po fazi 48,4 Ω , pri brzini od 1500 ob/min. Generator je pokretan turbinom konstantne snage 3 kW. Ukoliko se pobudna struja generatora održava konstantnom, potrebno je odrediti napon i brzinu obrtanja generatora kada se paralelno datom potrošaču priključi još jedan trofazni simetrični omški potrošač iste otpornosti. Broj pari polova generatora je 2, a sinhrona induktivnost 55 mH. Gubici u generatoru i priključenomvodu mogu se zanemariti.

Rešenje 1. zadatka (asinhronne mašine)

Koeficijent transformacije predstavlja odnos fazne elektromotorne sile statora i fazne elektromotorne sile rotora pri ukošenom rotoru:

$$m = \frac{E_{sf}}{E_{rfk}}$$

Imajući u vidu ekvivalentnu šemu asinhronog motora, koeficijent transformacije se može približno izraziti kao odnos faznog napona statora i fazne elektromotorne sile ukošenog rotora:

$$m \approx \frac{U_{sf}}{E_{rfk}}$$

ako se kasnije u izrazu za struju statora/rotora uzme u obzir reaktansa rasipanja statora (znamo da je njena vrednost približno jednaka svedenoj reaktansi rasipanja rotora ako konkretno nije dato ili rešeno u zadatku). Odatle se fazna vrednost indukovane elektromotorne sile ukošenog rotora može izraziti kao:

$$E_{rfk} = \frac{U_{sf}}{m}$$

Kako je namotaj statora u sprezi trougao to važi:

$$U_{sf} = U_{sn} = 400[V]$$

Ukoliko se može zanemariti otpornost statora, prevalno klizanje iznosi:

$$s_{pr} = \frac{R_r}{X_{\gamma uk}} = \frac{R_r}{X_{\gamma s}'' + X_{\gamma rk}}$$

Na osnovu date vrednosti otpornosti rotora $R_r = 0,15 \, \Omega$ i prevalnog klizanja $s_{pr} = 0,2856$ može se odrediti vrednost ukupne reaktanse rasipanja:

$$X_{\gamma uk} = X_{\gamma s}'' + X_{\gamma rk} = \frac{R_r}{s_{pr}} = \frac{0,15}{0,2856} = 0,5252[\Omega]$$

Nominalna preopterećenost predstavlja odnos prevalnog (maksimalnog) momenta pri nominalnom naponu napajanja i nominalnog momenta:

$$v_n = \frac{M_{prn}}{M_n}$$

pa se na osnovu datih podataka prevalni moment može izračunati:

$$M_{prn} = v_n \cdot M_n = 2,2 \cdot 110 = 242[Nm]$$

Prevalni moment se može dobiti kao odnos odgovarajuće snage obrtnog polja i ugaoa ul'estanosti statora:

$$M_{prn} = \frac{P_{obprn}}{s}$$

U ekvivalentnoj ģemi otpornik R_r/s modeluje snagu obrtnog polja pa je:

$$M_{prn} = \frac{3 \cdot \frac{R_r}{s_{pr}} \cdot I_{prn}^2}{\Omega_s} = \frac{3 \cdot \frac{R_r}{s_{pr}} \cdot I_{rprn}^2}{\frac{2\pi f_s}{p}}$$

Odakle se struja rotora I_{rprn} pri prevalnom momentu (pri nominalnom naponu) moĥe izraĥunati kao:

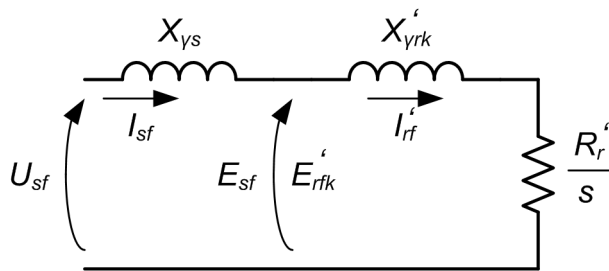
$$I_{rprn} = \sqrt{\frac{M_{prn} \cdot 2\pi f_s \cdot s_{pr}}{3p \cdot R_r}} = \sqrt{\frac{242 \cdot 2\pi \cdot 50 \cdot 0,2856}{3 \cdot 2 \cdot 0,15}} = 155,32[A]$$

S druge strane, na osnovu ekvivalentne ģeme asinhronog motora struju rotora I_{rprn} moĥemo izraziti sa (zanemarujuĥ i otpornost statora):

$$I_{rprn} = \frac{E_{rfk}}{\sqrt{\left(\frac{R_r}{s_{pr}}\right)^2 + X_{\mu k}^2}} = \frac{\frac{U_{sn}}{m}}{\sqrt{\left(\frac{R_r}{s_{pr}}\right)^2 + X_{\mu k}^2}}$$

odakle se moĥe naĥ i koeficijent transformacije m :

$$m = \frac{U_{sn}}{I_{rprn} \cdot \sqrt{\left(\frac{R_r}{s_{pr}}\right)^2 + X_{\mu k}^2}} = \frac{400}{155,32 \cdot \sqrt{\left(\frac{0,15}{0,2856}\right)^2 + 0,5252^2}} = 3,467$$



Slika 1.1. Ekvivalentna ģema asinhronog motora, sa zanemarenom otpornoĥu statora.

Rešenje 2. zadatka (asinhronne mašine)

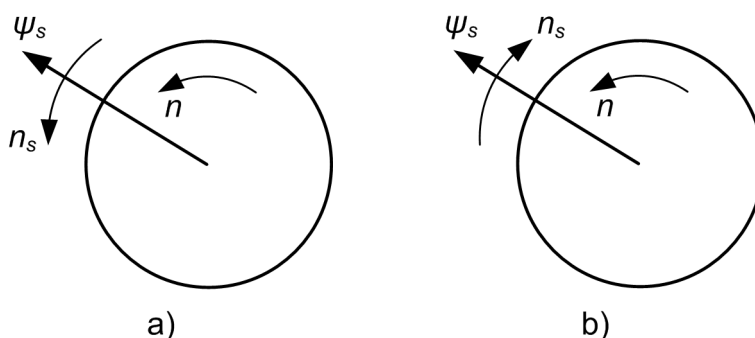
Klizanje asinhronog motora je definisano kao razlika brzine obrtnog polja i brzine rotora, relativno u odnosu na brzinu obrtnog polja. Kada su brzine obrtnog polja i rotora u odnosu kao na slici 2.1a, što je karakteristično za motorski režim rada klizanje je jednako:

$$s = \frac{n_s - n}{n_s}$$

Kada su brzine obrtnog polja i rotora u odnosu kao na slici 2.1b, što je karakteristično za režim košnice gde je obrtno polje suprotnog smera obrtanja u odnosu na rotor, klizanje je jednako:

$$s_i = \frac{n_s - (-n)}{n_s} = \frac{n_s + n}{n_s} = 1 + \frac{n}{n_s}$$

Indeks i u izrazu za klizanje s_i ukazuje da je obrtno polje suprotnog (inverznog) smera obrtanja u odnosu na rotor, što je karakteristično za inverzan simetrični režim rada.

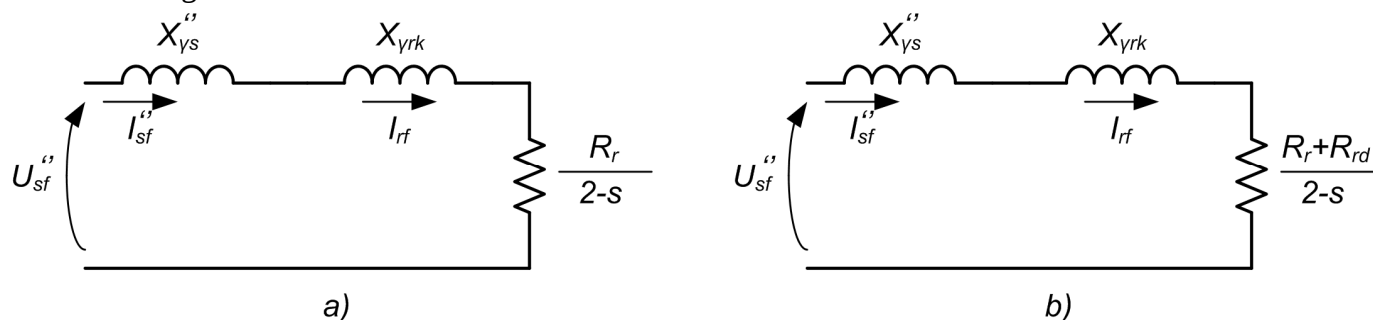


Slika 2.1. Brzina rotora u odnosu na brzinu obrtnog polja za: a) motorski režim rada, b) košioni režim rada.

Ako sa s označimo klizanje u motorskom režimu rada, onda je klizanje neposredno nakon zamene dve faze (nakon reverziranja) jednako:

$$s_i = 1 + \frac{n}{n_s} = 1 + (1 - s) = 2 - s$$

Ovo važi pod pretpostavkom da su elektromagnetne prelazne pojave mnogo kraćeg trajanja u odnosu na mehaničke prelazne pojave, što je uglavnom tačno (osim kod mikro-motora veoma malih dimenzija pa i malog momenta inercije). Drugim rečima, može se smatrati da je obrtno polje trenutno promenilo smer dok se brzina obrtanja usled relativno velike inercije nije promenila (odnosno ostala istog smera i vrednosti). To je novi inverzan simetrični režim rada, gde je klizanje mašine sada s_i , pa se može na osnovu poznate ekvivalentne šeme asinhronne mašine za direktan simetrični režim rada predstaviti ekvivalentnom šemom na slici 2.2a. Ako se u kolu rotora nalazi dodatni otpor otpornosti R_{rd} tada je ekvivalentna šema kao na slici 2.2b.



Slika 2.2. Ekvivalentna šema asinhronne mašine u košionom režimu rada (inverzni simetričan režim): a) bez dodatnog otpornika, b) sa dodatnim otpornikom u kolu rotora.

Sinhrona brzina obrtanja polja n_s pri frekvenciji napajanja $f_s=50 \text{ Hz}$ kod ġestopolne asinhronne maġine ($p=3$) iznosi:

$$n_s = \frac{60 f_s}{p} = \frac{60 \cdot 50}{3} = 1000 [\text{ob/min}]$$

Pri brzini obrtanja motora $n=900 \text{ ob/min}$ klizanje iznosi:

$$s = \frac{n_s - n}{n_s} = \frac{1000 - 900}{1000} = 0,1$$

Neposredno nakon reverziranja promenom dve faze klizanje maġine iznosi:

$$s_i = 2 - s = 2 - 0,1 = 1,9$$

Imajuġi u vidu ekvivalentnu ġemu asinhronne maġine za inverzni simetriġan reġim rada, sa dodatnim otpornikom R_{rd} u kolu rotora (slika 2.2b), struju statora (fazna vrednost, jer je ekvivalentna ġema pfazna) sa rotorske strane moġemo izraziti kao:

$$I''_{sfk} = \frac{U''_{sf}}{\sqrt{\left(\frac{R_r + R_{rd}}{s_i}\right)^2 + (X''_{js} + X_{jr})^2}}$$

Indeks k u oznaci za struju statora ukazuje na reġim koġnice. Svedenu vrednost napona statora U''_{sf} na osnovu date vrednosti napona statora $U_s=400 \text{ V}$, sprege namotaja statora (zvezda) i koeficijenta transformacije $m=2$ moġemo izraziti kao:

$$m = \frac{U_{sf}}{U''_{sf}} \Rightarrow U''_{sf} = \frac{U_{sf}}{m} = \frac{\frac{U_s}{\sqrt{3}}}{m} = \frac{U_s}{\sqrt{3} \cdot m}$$

pa se prethodni izraz za struju statora moġe zapisati sa:

$$I''_{sfk} = \frac{\frac{U_s}{\sqrt{3} \cdot m}}{\sqrt{\left(\frac{R_r + R_{rd}}{s_i}\right)^2 + (X''_{js} + X_{jr})^2}}$$

Vrednost struje statora svedene na rotor iznosi:

$$I''_{sfk} = \frac{\frac{400}{\sqrt{3} \cdot 2}}{\sqrt{\left(\frac{0,1+1}{1,9}\right)^2 + (0,7+0,7)^2}} = 76,22 [\text{A}]$$

Struja statora neposredno nakon reverziranja u datim uslovima rada iznosi:

$$I_{sk} = I_{sfk} = \frac{I_{sfk}''}{m} = \frac{76,22}{2} = 38,11[A]$$

Elektromagnetni moment kočenja koji asinhrona mašina tada razvija može se dobiti kao odnos odgovarajuće snage obrtnog polja i mehaničke sinhronne ugaone učestanosti:

$$M_k = \frac{P_{obk}}{\Omega_s} = \frac{3 \cdot \frac{R_r + R_{rd}}{s_i} \cdot I_{sfk}^2}{\frac{2\pi f_s}{p}}$$

Zanemarujući i struju magnetnog enja traženi moment kočenja se može izračunati kao:

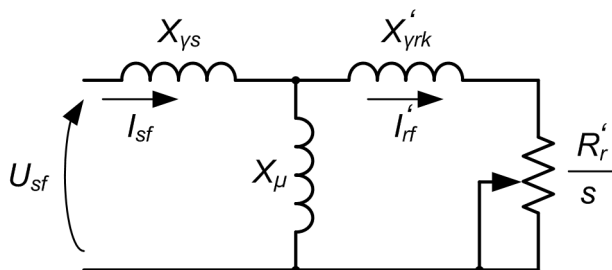
$$M_k = \frac{3 \cdot \frac{R_r + R_{rd}}{s_i} \cdot I_{sfk}^2}{\frac{2\pi f_s}{p}} = \frac{3 \cdot \frac{0,1+1}{1,9} \cdot 76,22^2}{\frac{2\pi \cdot 50}{3}} = 96,35[Nm]$$

Električni gubici u rotoru tada iznose:

$$P_{Cuk} = 3 \cdot (R_r + R_{rd}) \cdot I_{sfk}^2 = 3 \cdot (0,1+1) \cdot 76,22^2 = 19171,3[W]$$

Rešenje 3. zadatka (asinhrona mašina)

Ekvivalentna gema predstavlja samo približnu predstavu stvarne mašine. U datom slučaju na osnovu datih parametara mašine može se sastaviti ekvivalentna gema prikazana na slici 3.1. Prikazanom gemom nisu uključeni gubici u gvoštlu i mehanički gubici koji kod stvarne mašine postoje. Stoga je izlazna mehanička snaga dobijena na osnovu ovakve ekvivalentne gеме velika za iznos tih gubitaka u odnosu na stvarnu snagu motora. Upravo nam ova činjenica može poslužiti za nalaženje traženih nepoznatih gubitaka.



Slika 3.1. Ekvivalentna gema asinhrona mašine gde su zanemareni gubici u gvoštlu i mehanički gubici.

Na osnovu prikazane ekvivalentne gеме (gde je obuhvaćena struja magnetenja) može se izvesti dobro poznat izraz za elektromagnetni moment konverzije asinhrona mašine (polazeći od općeg izraza gde je moment odnos snage obrtnog polja i sinhrona brzine obrtanja, i izražavajući struju rotora na osnovu ekvivalentne gеме preko dovedenog napona statora i ekvivalentne impedanse mašine):

$$M_c = \frac{3p}{2\pi f_s} \cdot U_{sf}^2 \cdot \frac{\frac{R_r}{s}}{\left(R_s + \sigma \frac{R_r}{s}\right)^2 + (X_{ys} + \sigma X_{rk}')^2}$$

gde σ predstavlja koeficijent rasipanja i računa se kao:

$$\sigma = 1 + \frac{X_{ys}}{X_{\mu}} = 1 + \frac{0,155}{5,2} = 1,03$$

Tako se može naći i nominalni moment motora na osnovu ekvivalentne gеме:

$$M_{cn} = \frac{3 \cdot 3}{2\pi \cdot 50} \cdot \left(\frac{600}{\sqrt{3}}\right)^2 \cdot \frac{\frac{0,036}{0,04}}{\left(0,0139 + 1,03 \cdot \frac{0,036}{0,04}\right)^2 + (0,155 + 1,03 \cdot 0,15)^2} = 2628,02 [Nm]$$

Elektromehanička snaga konverzije u nominalnom režimu na osnovu ekvivalentne gеме iznosi:

$$P_{cn} = M_{cn} \cdot \Omega_n$$

Nominalna ugaona brzina obrtanja rotora se može izračunati kao:

$$\Omega_n = (1 - s_n) \cdot \Omega_s = (1 - s_n) \cdot \frac{2\pi f_s}{p} = (1 - 0,04) \cdot \frac{2\pi \cdot 50}{3} = 120,64 [rad/s]$$

pa je:

$$P_{cn} = 2628,02 \cdot 120,64 = 317,036 [kW]$$

Ovako dobijena izlazna snaga za nazivni režim rada je veća od date stvarne nazivne snage motora $P_n = 315 \text{ kW}$, upravo za iznos gubitaka u gvožđu i mehaničkih gubitaka (zbirno):

$$P_{cn} = P_n + P_{gFe} + P_{gmeh} \Rightarrow P_{gFe} + P_{gmeh} = P_{cn} - P_n$$
$$P_{gFe} + P_{gmeh} = 317,036 - 315 = 2,036 [\text{kW}] = 2036 [\text{W}]$$

što iznosi oko 0,65% nazivne snage motora.

Rešenje 1. zadatka (sinhrone mašine)

Uz dato opterećenje na vratilu $M_m=31,8 \text{ Nm}$ i frekvenciju napajanja $f=50 \text{ Hz}$, motor razvija na svom vratilu mehaničku snagu:

$$P_m = M_m \cdot \Omega_m = M_m \cdot \frac{2\pi \cdot f}{p} = 31,8 \cdot \frac{2\pi \cdot 50}{1} = 9990,3 [\text{W}]$$

Uz dati koeficijent iskorišćenja $\eta=0,98$ (u zadatku je pretpostavljen konstantan koeficijent korisnog dejstva nezavisan od opterećenja) električna snaga motora pri datom opterećenju iznosi:

$$\eta = \frac{P_{izl}}{P_{ul}} = \frac{P_m}{P_{el}} \Rightarrow P_{el} = \frac{P_m}{\eta} = \frac{9990,3}{0,98} = 10194,1 [\text{W}]$$

U režimu gde pored aktivne snage $P_{el}=10,194 \text{ kW}$ treba da isporučuje reaktivnu snagu $Q=20 \text{ kVar}$, motor radi sa prividnom snagom:

$$S = \sqrt{P_{el}^2 + Q^2} = \sqrt{10194,1^2 + 20000^2} = 22448,2 [\text{VA}]$$

Pri naponu napajanja $U=380 \text{ V}$, struja motora u datom režimu rada iznosi:

$$S = \sqrt{3}UI \Rightarrow I = \frac{S}{\sqrt{3}U} = \frac{22448,2}{\sqrt{3} \cdot 380} = 34,11 [\text{A}]$$

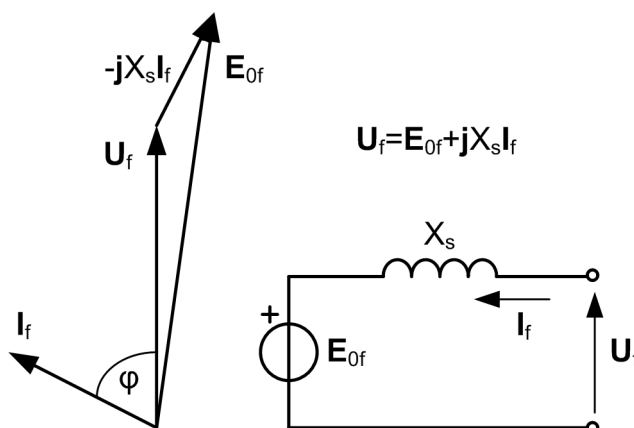
Motor radi sa faktorom snage:

$$\cos \varphi = \frac{P}{S} = \frac{10194,1}{22448,2} = 0,4541$$

odnosno struja prednjači (jer motor isporučuje reaktivnu snagu mreži, faktor snage je kapacitivan) naponu za fazni stav:

$$\varphi = \arccos(\cos \varphi) = \arccos(0,4541) = 62,99^\circ$$

Sa odgovarajućeg fazorskog dijagrama sinhronog motora u datom nadpobuđenom režimu, slika 1.1, može se odrediti indukovana elektromotorna sila praznog hoda (fazna vrednost, jer u fazorskom dijagramu crtamo fazne veličine), a potom i potrebna pobudna struja koristeći datu aproksimaciju karakteristike magnetenja ($E_{0f}=f(I_p)$ pri $n=const.$)



Slika 1.1. Ekvivalentna šema sinhronog motora (sa cilindričnim rotorom) i odgovarajući fazorski dijagram (za nadpobuđeni režim rada).

Na osnovu fazorskog dijagrama sinhronog motora za razmatrani režim rada i uz primenu kosinusne teoreme (na trougao koga l'ine fazori indukovane elektromotorne sile praznog hoda, napona mreže i pada napona na sinhronoj reaktansi) elektromotorna sila praznog hoda po fazi iznosi:

$$E_{0f} = \sqrt{U_f^2 + (X_s I_f)^2 - 2U_f X_s I_f \cos(90^\circ + \varphi)} = \sqrt{U_f^2 + (X_s I)^2 + 2U_f X_s I \sin \varphi}$$

$$E_{0f} = \sqrt{\left(\frac{380}{\sqrt{3}}\right)^2 + (1,5 \cdot 34,11)^2 + 2 \cdot \frac{380}{\sqrt{3}} \cdot 1,5 \cdot 34,11 \cdot \sin(62,99^\circ)} = 266 [V]$$

Linijska vrednost indukovane elektromotorne sile praznog hoda iznosi:

$$E_0 = \sqrt{3} \cdot E_{0f} = \sqrt{3} \cdot 266 = 460,72 [V] \quad (> U = 380 [V])$$

Uz datu linearnu aproksimaciju karakteristike magnetenja razmatranog sinhronog motora nalazimo potrebnu struju pobude kako bi se ostvario posmatrani režim rada:

$$E_{0f} [V] = 100 \cdot I_p [A] \Rightarrow I_p = \frac{E_{0f}}{100} = \frac{266}{100} = 2,66 [A]$$

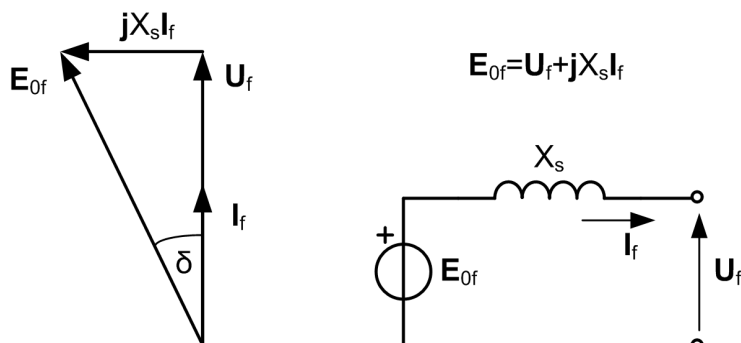
Rešenje 2. zadatka (sinhrone mašine)

Kada generator radi na mreži napona $U=11\text{ kV}$ sa strujom $I=200\text{ A}$ pri jediničnom faktoru snage $\cos\varphi=1$, tada isporučuje aktivnu snagu:

$$P = \sqrt{3}UI \cos\varphi = \sqrt{3} \cdot 11 \cdot 10^3 \cdot 200 \cdot 1 = 3,811\text{ [MVA]}$$

Na osnovu fazorskog dijagrama napona sinhronog turbogeneratora za dati režim rada gde je faktor snage jednak jedinici, slika 2.1, elektromotorna sila praznog hoda iznosi:

$$E_{0f} = \sqrt{U_f^2 + (X_s I_f)^2} = \sqrt{\left(\frac{11000}{\sqrt{3}}\right)^2 + (8 \cdot 200)^2} = 6549,3\text{ [V]}$$

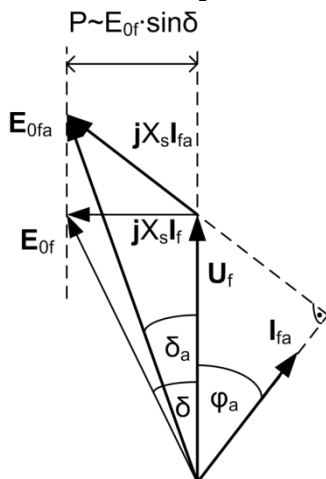


Slika 2.1. Ekvivalentna šema sinhronog turbogeneratora i odgovarajući fazorski dijagram napona kada radi sa jediničnim faktorom snage.

a) Ako se struja pobude poveća za 30% (uz konstantnu frekvenciju mreže) i vrednost indukovane elektromotorne sile I e porasti za 30%:

$$E_{0f} \equiv I_p \Rightarrow E_{0fa} = 1,3 \cdot E_{0f} = 1,3 \cdot 6549,3 = 8514,1\text{ [V]}$$

Ako aktivna snaga ostane ista $P_a = P = 3,811\text{ MVA}$, a indukovana elektromotorna sila poraste na vrednost E_{0fa} tada će odgovarajući fazorski dijagram napona u tom režimu biti kao na slici 2.2. Novi fazorski dijagram nacrtan je imajući u vidu da je aktivna snaga srazmerna proizvodu indukovane elektromotorne sile praznog hoda E_{0f} i sinusa ugla opterećenja $\sin\delta$. Na fazorskom dijagramu tom proizvodu odgovara horizontalno rastojanje vrha fazora indukovane elektromotorne sile i pravca napona mreže. Ako to rastojanje ostane isto za dva režima sa istim aktivnim snagama, a indukovana elektromotorna sila poraste (za 30% po uslovu zadatka) tada je fazorski dijagram kao na slici 2.2. Očekivano je da se ugao opterećenja δ_a smanji u odnosu na δ iz prethodnog režima, kao i da struja generatora sada kasni za naponom mreže za fazni stav φ_a (jer položaj struje određuje i položaj fazora pada napona na sinhronoj reaktansi koji je kao na slici 2.2 iz prethodno opisanih razloga).



Slika 2.2. Fazorski dijagram generatora uz uslov $P_a = P$ i $E_{0fa} = 1,3 \cdot E_{0f}$.

Novi ugao opterećenja nakon povećavanja pobudne struje za 30% se može naći poznavajući ugaone karakteristike aktivne snage sinhronog turbogenerators:

$$P_a = \frac{3U_f E_{0fa}}{X_s} \sin \delta_a \Rightarrow \sin \delta_a = \frac{P_a X_s}{3U_f E_{0fa}} = \frac{3,811 \cdot 10^6 \cdot 8}{3 \cdot \frac{11 \cdot 10^3}{\sqrt{3}} \cdot 8514,1} = 0,1879$$

$$\delta_a = \arcsin(\sin \delta_a) = \arcsin(0,1879) = 10,83^\circ$$

Projekcijom fazorskog dijagrama napona na pravac napona mreže dobija se skalarna jednačina:

$$E_{0fa} \cos \delta_a = U_f + X_s I_{fa} \sin \varphi_a$$

odakle se može naći i proizvod struje i sinusa faznog stava struje u odnosu na napon generatora:

$$I_{fa} \sin \varphi_a = \frac{E_{0fa} \cos \delta_a - U_f}{X_s} = \frac{8514,1 \cdot \cos(10,83^\circ) - \frac{11000}{\sqrt{3}}}{8} = 251,44 [A]$$

Slično, projekcijom fazorskog dijagrama napona na pravac normalan na fazor napona mreže dobija se skalarna jednačina:

$$E_{0fa} \sin \delta_a = X_s I_{fa} \cos \varphi_a$$

Odakle se može naći i proizvod struje i faktora snage generatora u posmatranom režimu rada:

$$I_{fa} \cos \varphi_a = \frac{E_{0fa} \sin \delta_a}{X_s} = \frac{8514,1 \cdot 0,1879}{8} = 200,03 [A]$$

Sada se mogu odrediti ponaosob fazni stav struje u odnosu na napon generatora:

$$\frac{I_{fa} \sin \varphi_a}{I_{fa} \cos \varphi_a} = \operatorname{tg} \varphi_a = \frac{251,44}{200,03} = 1,257 \Rightarrow \varphi_a = \operatorname{arctg}(1,257) = 51,5^\circ$$

Odnosno faktor snage:

$$\cos \varphi_a = \cos(51,5^\circ) = 0,6226$$

kao i tražena struja generatora:

$$I_a = I_{fa} = \frac{I_{fa} \cos \varphi_a}{\cos \varphi_a} = \frac{200,03}{0,6226} = 321,3 [A]$$

b) Granični slučaj za ispad iz sinhronizma je ilustrovan na slici 2.3. Teoretska vrednost ugla opterećenja pri kojem turbogenerator ispada iz sinhronizma je $\delta_b = 90^\circ$. Ako je pobudna struja ista kao u delu zadatak pod a) tada je vrednost indukovane elektromotorne sile praznog hoda takođe ostala ista $E_{0fb} = E_{0fa}$, sa tom razlikom što sada njen fazor zaklapa ugao od 90° sa fazorom napona mreže. Uzimajući i prethodno rešeno u obzir nacrtan je fazorski dijagram napona i struje generatora na slici 2.3. Ispad iz sinhronizma za vrednost indukovane elektromotorne sile E_{0fb} i se desiti pri snazi opterećenja generatora:

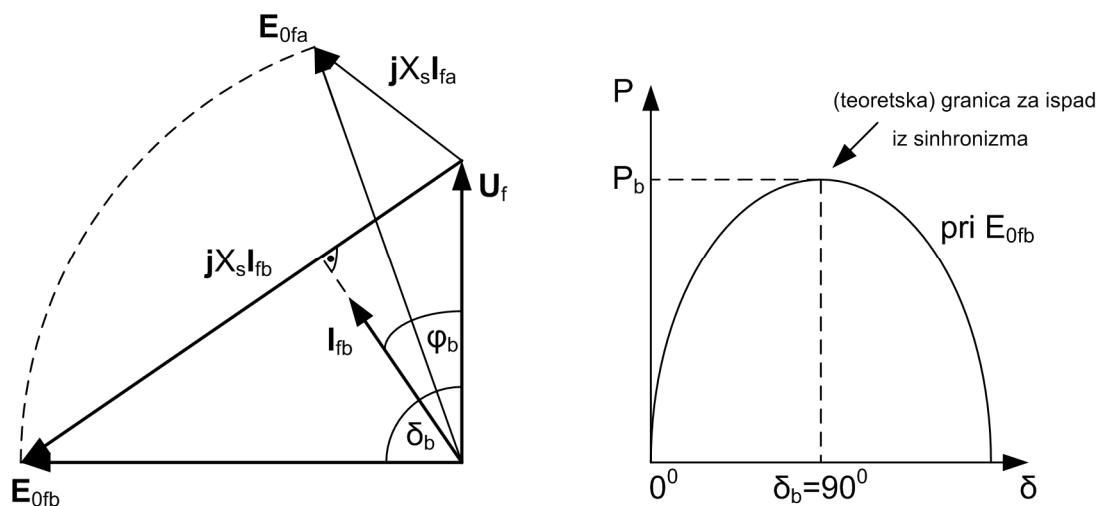
$$P_b = \frac{3U_f E_{0fb}}{X_s} \sin \delta_b = \frac{3 \cdot \frac{11000}{\sqrt{3}} \cdot 8514,1}{8} \cdot \sin(90^\circ) = 20,277 [MW]$$

Na osnovu fazorskog dijagrama napona generatora u tom graničnom režimu može se odrediti vrednost struje opterećenja pri kojem će doći do ispada iz sinhronizma:

$$X_s I_{fb} = \sqrt{E_{0fb}^2 + U_f^2} \Rightarrow I_b = I_{fb} = \frac{\sqrt{E_{0fb}^2 + U_f^2}}{X_s} = \frac{\sqrt{8514,1^2 + \left(\frac{11000}{\sqrt{3}}\right)^2}}{8} = 1327,7 [A]$$

Faktor snage je tada kapacitivan (vidi sliku 2.3) i iznosi:

$$P_b = \sqrt{3} U I_b \cos \varphi_b \Rightarrow \cos \varphi_b = \frac{P_b}{\sqrt{3} U I_b} = \frac{20,277 \cdot 10^6}{\sqrt{3} \cdot 11 \cdot 10^3 \cdot 1327,7} = 0,8016 \text{ cap.}$$



Slika 2.3. Ispad iz sinhronizma: odgovarajući fazorski dijagram napona i struje, i naznačena radna tačka na ugaonoj karakteristici za aktivnu snagu.