

RAČUNSKE VEŽBE IZ SINHRONIH MAŠINA (OG3SM)

TEKSTOVI ZADATAKA

1. Vodena turbina za pogon hidrogeneratora ima optimalnu ekonomičnu brzinu od približno 78 ob/min . Odrediti broj polova i najbližu izvodljivu brzinu obrtanja za sa njom direktno spregnute sinhronne generatore za učestanost:
 - a) 50 Hz
 - b) 25 Hz
 - c) 60 Hz .
2. Motor predviđen za napon 440 V , 60 Hz želimo da priključimo na mrežu učestanosti 50 Hz . Za koji napon te učestanosti će indukcija ostati nepromenjena?
3. Mali ogleadni trofazni četvoropolni SG ima koncentrisani dijametralni namot. Svaka sekcija ima 20 navojaka, a svi navojci iste faze vezani su na red. Fluks po polu iznosi 0.025 Wb i raspodeljen je sinusoidalno u vazdušnom zazoru mašine. Rotor se obrće brzinom od 1800 ob/min .
 - a) Odrediti efektivnu vrednost indukovane ems po fazi.
 - b) Uzmimo da je fazni redosled a, b, c i da je u početnom trenutku fluks kroz fazu a maksimalan. Napisati grupu vremenskih jednačina za tri fazne ems između krajeva a, b, c i neutralne tačke namota spregnutog u zvezdu.
 - c) Pod uslovima izvedenim b), napisati grupu vremenskih jednačina za ems između faza a i b, b i c, c i a.
4. Trofazni dvopolni generator ima na statoru namot sa 60 provodnika po fazi čiji je navojni sačinilac 0.92. Rotor generatora okreće se brzinom od 3000 ob/min . Magnetni fluks sinusne raspodele u zazoru okreće se brzinom od 3000 ob/min i njegova vrednost je $3.76 \cdot 10^{-2} \text{ Wb/pol}$. Odrediti indukovanu ems praznog hodau jednoj fazi.
5. Trofazni šesnaestopolni SG sa faznim namotima spregnutim u zvezdu ima 144 žleba, 10 provodnika po žlebu i namot sa punim navojnim korakom. Magnetni fluks po polu je $3 \cdot 10^{-2} \text{ Wb}$, sinusnog je oblika i obrće se brzinom od 39.3 rad/s . Odrediti učestanost i vrednosti indukovane ems po fazi i između faza ako su svi provodnici indukta vezani na red.
6. Data je raspodela fluksa u zazoru trofazne mašine za na izmehičnu struju: $B = \sin \theta + 0.3 \cdot \sin 3\theta + 0.2 \cdot \sin 5\theta$ [T]. Namotaj je dvoslojni, navojni korak namota je $4/5$ polnog koraka, a

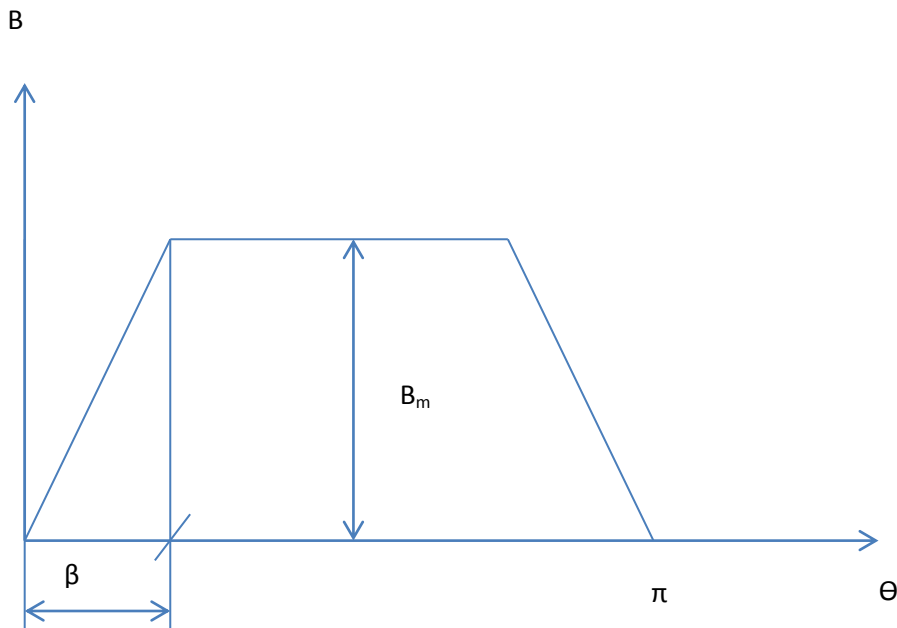
broj žlebova po polu i fazi je 5. Odrediti procentualni sadržaj harmonika kao i relativne efektivne vrednosti, u odnosu na osnovni harmonik, elektromotornih sila indukovanih:

- a) u provodniku,
- b) u navojku,
- c) u fazi,
- d) između faza.

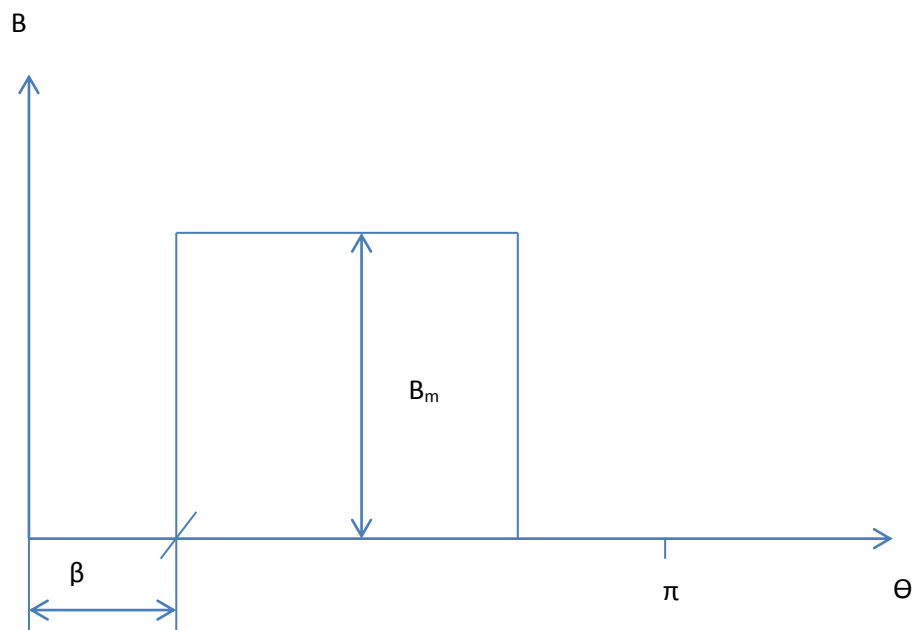
7. Promena indukcije u zazoru električne mašine je $B = B_m \cdot (\sin \theta + 0.36 \cdot \sin 3\theta - 0.40 \cdot \sin 5\theta)$.

- a) Izračunati procentualne vrednosti flukseva pojedinih harmonika u odnosu na rezultatni fluks.
- b) Ako je namotaj trofazni dvoslojni, sa 5 žlebova po polu i fazi, navojni korak skraćen za $1/5$, a efektivna vrednost ems prvog harmonika jednaka 1, izračunati efektivne vrednosti ems viših harmonika i efektivnu vrednost fazne i međufazne ems pri sprezi zvezda.

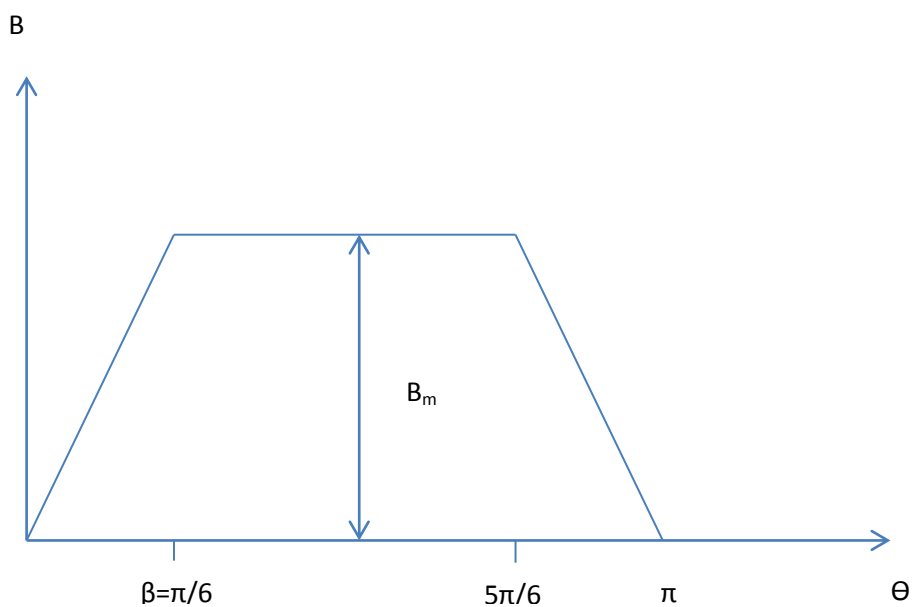
8. Polje koje stvara cilindrični induktor sinhronne mašine ima trapezni oblik kao na slici. Za koje vrednosti ugla β će peti harmonik indukcije u zazoru biti jednak nuli? Izračunati vrednost osnovnog harmonika za te vrednosti ugla. Koje je rešenje povoljnije usvojiti i zašto?



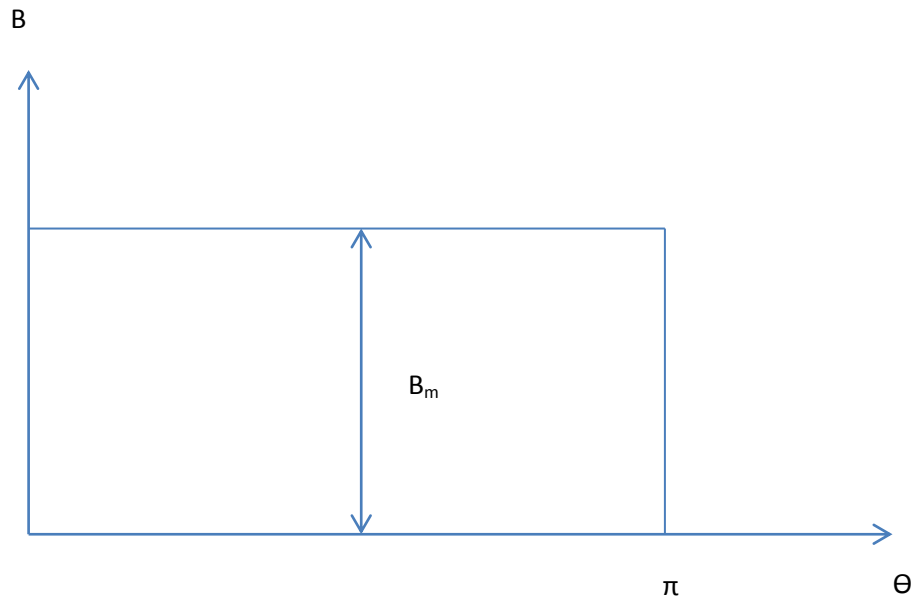
9. Polje koje stvara induktor sinhronne mašine sa istaknutim polovima ima pravougaoni oblik ako je zazor pod polom konstantan kao na slici. Za koje vrednosti ugla β će vrednost petog, odnosno sedmog harmonika indukcije u zazoru biti jednaka nuli?



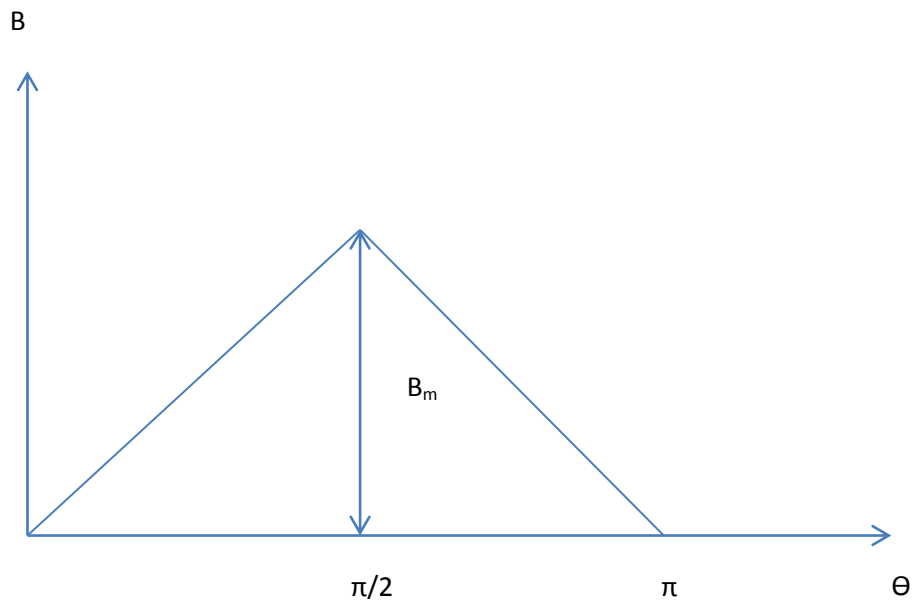
10. Ako je indukcija u zazoru sinhronne mašine predstavljena trapeznom krivom kao na slici, odrediti amplitude 1, 3, 5 i 7. harmonične komponente indukcije.



11. Odrediti amplitude traženih harmonika krive indukcije iz prethodnog zadatka za $\beta = 0$, tj. za pravougaoni oblik polja.



12. Odrediti amplitude traženih harmonika krive indukcije iz 10. zadatka za $\beta = 90^\circ$, tj. za trougaoni oblik polja.



13. Indukt trofazne osmopolne mašine za naizmeničnu struju, spregnut u zvezdu, za učestanost 60 Hz , ima 24 žleba po polu. Navojni korak je $5/6$, a svaki navojni deo ima 4 navojka vezana na red. Namotaj je dvoslojni. Promena magnetne indukcije u vazдушnom zazoru data je izrazom: $B(\theta) = B_m \cdot (\sin \theta + 0.35 \cdot \sin 3\theta - 0.40 \cdot \sin 5\theta)$, gde je θ ugaono rastojanje u

električnim radijanima, mereno od tačke u kojoj je magnetna indukcija jednaka nuli. Mašina je neopterećena, rotor mašine obrće se sinhronom brzinom. Ukupni fluks u vazдушnom procepu mašine je 48 mWb/polu . Naći efektivne fazne i linijske napone.

14. Trofazni sinhroni turbogenerator sa podacima: $2 \text{ MVA}, 1000 \text{ V}, 50 \text{ Hz}, p = 2$, ima 60 žlebova na statoru i 100 navojaka u fazi, a 56 žlebova popunjenih namotom na rotoru sa 500 navojaka. Na rotoru su žlebovi raspoređeni na $2/3$ polnog koraka ($\frac{m_2}{z_2} = \frac{2}{3}$). Odrediti pobudnu struju potrebnu koja je potrebna da bi se kompenzovala reakcija indukta statora ako generator daje u mrežu 70% nominalne snage uz sačinilac snage jednak nuli. Oba namota imaju pun korak motanja ($\gamma = \tau$).

15. Ispitivanjem trofaznog sinhronog generatora spregnutog u zvezdu utvrđeno je sledeće: tangenta povučena na karakteristiku praznog hoda u koordinatnom početku prolazi kroz tačku ($120 \text{ V}, 1.5 \text{ A}$). Za nominalni napon od 380 V u praznom hodu potrebna je pobudna struja od 6 A . Za nominalnu dstruju od 8 A u kratkom spoju potrebna je pobudna struja od 5 A . Odrediti stvarnu i relativnu vrednost nezasićene i zasićene sinhronne reaktanse kao i odnos kratkog spoja, zanemarujući aktivni otpor indukta.

16. Pri ispitivanju jednofaznog sinhronog generatora u kratkom spoju dobijena je struja od 100 A pri pobudnoj struji od 2.5 A , a u praznom hodu je izmeren napon od 500 V pri istoj pobudnoj struji. Odrediti indukovanu ems i relativne promene napona između punog opterećenja i praznog hoda, pri opterećenju od 100 A i naponu 2000 V , za faktore opterećenja:

- a) $\cos \varphi = 1$,
- b) $\cos \varphi = 0.8 \text{ (ind)}$,
- c) $\cos \varphi = 0.8 \text{ (cap)}$.

Napomena: U proračunima zanemariti aktivni otpor indukta.

17. Trofazni SG sprege namotaja zvezda, za 6.4 kV , opterećen je strujom od 250 A uz $\cos \varphi = 0.85 \text{ (ind)}$. Zajednička ems generatora iznosi $E_\delta = 7 \text{ kV}$. Zanemarujući omski otpor statora odrediti:

- a) ugao između zajedničke ems i napona ($\angle(E_\delta, U) = ?$) i reaktansu rasipanja ($X_\gamma = ?$),
- b) vrednost zajedničke ems pri kojoj generator daje istu struju uz $\cos \varphi = 1$.

Zajednička ems – ems koja je srazmerna fluksu u zazoru mašine.

18. Turbogenerator snage 2500 kVA , 6600 V , radi pri nominalnom opterećenju i faktoru snage $\cos \varphi = 0.8$ (*ind*) i $\cos \varphi = 0.8$ (*cap*). Sinhrona reaktansa namotaja je 10.4Ω .

- a) Izračunati odnos regulacije (faktor regulacije).
- b) Izračunati faktor snage pri faktoru regulacije jednakom nuli, a za nominalno opterećenje generatora. Otpornost namotaja statora je 0.071Ω .

19. Sinhroni motor snage 1500 kW , faktora snage $\cos \varphi = 1$, 2300 V , 60 Hz , sprege zvezda, trideset polova, ima sinhronu reaktansu od 1.95Ω po fazi.

- a) Izračunati maksimalni moment koji motor može da razvije ako se napaja iz čvrste mreže 2300 V , 60 Hz , uz konstantnu struju pobude i konstantan faktor snage jednak jedinici.
- b) Pretpostaviti da se motor napaja iz trofaznog dvopolnog turbogeneratora napona 2300 V , sprege zvezda, snage 1750 kVA , 3600 ob/min , sinhronu reaktansu 2.65Ω po fazi. Generator se obrće nominalnom brzinom, a pobude motora i generatora su podešene tako da motor radi sa faktorom snage $\cos \varphi = 1$ pri nominalnoj snazi i nominalnom naponu. Ako se pobudne struje održavaju konstantnim, a opterećenje motora se polako povećava, izračunati maksimalni moment koji motor razvija i napon na njegovim krajevima u tom režimu.

20. Četvoropolni SG snage 600 MVA , 24 kV , 60 Hz , $X_S = 1.67 \Omega$, priključen je na sistem koji čine tvrda mreža 24 kV i reaktansa 0.24Ω . Regulator pobude generatora održava napon na krajevima generatora konstantnim i jednakim 24 kV nezavisno od opterećenja generatora.

- a) Nacrtati fazorski dijagram ako je snaga koju daje generator 300 MVA . Odrediti vrednost struje generatora i njen fazni stav u odnosu na napon generatora. Odrediti vrednost ems generatora.
- b) Ponoviti proračune pod a) za opterećenje generatora od 600 MVA .

21. Ispitivanjem SG u praznom hodu pri nominalnom faznom naponu 220 V , izmerena je struja pobude $I_f = 6 \text{ A}$, a u kratkom spoju pri nominalnoj struji od 8 A izmerena je pobudna struja $I_f = 5 \text{ A}$. Ako je mašina priključena na nominalni napon, odrediti:

- a) pobudnu struju pri nominalnoj struji uz $\cos \varphi = 0.8$ (*ind*),
- b) maksimalnu snagu pri istoj pobudnoj struji, odgovarajući sačinilac snage i karakter opterećenja.

Napomena: Zanemariti rezistansu statora. Mašina je JEDNOFAZNA.

22. Trofazni SG snage 60 MVA priključen je na mrežu stalnog napona 13.2 kV, $x_s = 1.2 r.j.$ Ukoliko turbina predaje sinhronoj mašini snagu od 50 MW, a pobuda je podešena tako da je sačinilac snage jednak jedinici, izračunati koliko puta je potrebno:

- a) povećati (u slučaju opterećenja induktivnog karaktera),
- b) smanjiti (u slučaju opterećenja kapacitivnog karaktera),

pobudnu struju, dok struja statora ne postigne nominalnu vrednost. Zanimariti gubitke u mašini.

23. Generator sa istaknutim polovima ima vrednost sinhronih reaktansi $x_d = 1 r.j.$ i $x_q = 0.6 r.j.$, $R_a \approx 0$. Izračunati ems usled pobude kada generator radi sa nominalnom snagom i nominalnim naponom uz faktor snage $\cos \varphi = 0.8 (ind)$.

24. Trofazni SG snage 3 MVA, 2300 V, sprege zvezda, 60 Hz, $2p = 24$, zanemarljive otpornosti statora, ima reaktanse po fazi $X_d = 1.8 \Omega$ i $X_q = 1.1 \Omega$.

- a) Izračunati ugao snage i ems usled pobude ako generator radi sa nominalnom snagom na krutoj mreži 2300 V, 60 Hz i sačinioem snage $\cos \varphi = 0.8 (ind)$;
- b) Kolika je maksimalna snaga i moment ako pobudna struja ne menja svoju vrednost?

Nacrtati odgovarajuće fazorske dijagrame i zanemariti gubitke u mašini.

25. Trofazni SG sa reaktansama (po fazi) $X_d = 180\%$ i $X_q = 165\%$ priključen je na krutu mrežu nominalne vrednosti napona, preko reaktanse $X_e = 12\%$. Generator radi sa nominalnom snagom i faktorom snage $\cos \varphi = 0.95 (ind)$, mereno na priključcima generatora.

- a) Nacrtati fazorski dijagram;
- b) Odrediti ugao snage (misli se na ugao između ems i napona na priključcima generatora);
- c) Odrediti efektivne vrednosti napona na krajevima generatora i ems usled pobude (relativne vrednosti, u odnosu na napon mreže)

26. Koliku snagu u r.j. može isporučiti sinhrona mašina bez gubitka sinhronizma kada radi kao motor pri nominalnom naponu i bez pobude? Podaci mašine su $x_d = 0.85 r.j.$ i $x_q = 0.6 r.j.$ Izračunati struju motora u relativnim jedinicama. Zanimariti gubitke u mašini.

27. Posmatra se mašina iz prethodnog zadatka. Ako se zanemari isturenost polova i smatra da je vrednost sinhrona reaktanse $X_s = 85\%$, odrediti minimalnu vrednost pobudne struje potrebnu da mašina ostane u sinhronizmu pri nominalnom opterećenju. Zanimariti gubitke u mašini.

28. Sinhrona mašina ima relativnu vrednost sinhronne reaktanse $x_S = 2 r.j.$ Odrediti ugao opterećenja δ , faktor snage, aktivnu i reaktivnu snagu, ako mašina radi:

- kao generator pri pobudi $2.5 r.j.$ i struji opterećenja od $0.9 r.j.$;
- kao motor pri pobudi $1.75 r.j.$ i struji opterećenja od $0.9 r.j.$;
- Da li mašina proizvodi ili troši reaktivnu energiju u ova dva slučaja?
- Da li je mašina dovoljno pobuđena u oba slučaja?

Smatrati da je mašina nezasićena. Bazna vrednost pobude odgovara nominalnoj vrednosti napona u praznom hodu. Zanimariti aktivnu otpornost statorskog namotaja.

29. Šestopolni sinhroni generator sprege zvezda ima sledeće nominalne podatke: $U_n = 380 V, f = 50 Hz, X_S = 0.8 \Omega$. Kada ovaj generator mreži daje snagu od $80 kVA$, moment turbine iznosi $M_T = 392 Nm$.

- Odrediti indukovanu ems, ugao snage i maksimalni moment;
- Na krajevima generatora se u cilju kompenzacije reaktivne energije priključi još i opterećenje sa sačinioem snage od 0.8943 i aktivnom snagom $P_d = 135.8 kW$. Za ovo stanje odrediti sačinilac snage, ugao snage i potreban pogonski moment turbine ako napon na krajevima mašine i pobudna struja ostaju konstantni.

Zanimariti omski otpor statora i ostale gubitke u mašini.

30. Poznata je karakteristika magnećenja hidrogeneratora snage $90 MVA$:

Φ	0.27	0.48	0.59	0.64	[Wb]
F	7600	14900	24600	33800	[A · nav/polu]

Broj navojaka po polu pobudnog namotaja je 14, a njihov omski otpor 0.002Ω .

Izračunati i dati u obliku tablice, induktivnosti po polu induktora i odgovarajuću vremensku konstantu, u funkciji pobudne struje.

31. Trofazni SG sa nominalnom snagom sa nominalnom snagom $S_n = 10 MVA$, naponom $U_n = 10.3 kV, 50 Hz, p = 10, \cos \varphi_n = 0.8, X_d = 100\%, X_q = 50\%$, opterećen je snagom $S = 7 MVA$, pri čemu je ugao između ems i struje statora $\varphi = 56.4^\circ$. Odrediti:

- relativnu vrednost ems praznog hoda E_0 i veličinu ugla δ ;
- vrednost sinhronizacionog momenta k_{SM} pri zadatom opterećenju.

32. Trofazni SG snage 150 MVA ima sledeće parametre: $X_d = 1.25 r.j$, $X_q = 0.9 r.j$, $p = 20$. Pri nominalnom naponu i faktoru snage $\cos \varphi_n = 0.8$ (*ind*), odrediti:

- a) sačinilac sinhronizacione snage k_{SP} ;
- b) sačinilac sinhronizacionog momenta k_{SM} .

Generator je nominalno opterećen.

33. Sinhroni motor sa cilindričnim rotorom ima sledeće podatke: 380 V, 50 Hz, četvoropolni, sprega zvezda, $X_S = 1 \Omega$. Motor je podpobuđen i razvija moment od 287 Nm pri čemu uzima iz mreže 82 kVA. Zanemarujući gubitke, odrediti:

- a) faktor snage i reaktivnu snagu;
- b) ems, električni i mehanički ugao snage;
- c) maksimalni moment i stepen preopteretljivosti;
- d) ako se moment smanji na 145 Nm, a ems poveća 2 puta, odrediti novi faktor snage i ugao snage.

34. Sinhroni motor sa podacima: 6600 V, 400 kVA, $X_S = 100\%$, potrebno je iskoristiti za popravku sačinioaca snage jednog industrijskog postrojenja. Snaga postrojenja je 400 kW pri $\cos \varphi_p = 0.8$ (*ind*). Otpor indukta i gubici u motoru se mogu zanemariti. Odrediti reaktivnu snagu potrebnu da se sačinilac snage postrojenja popravi na:

- a) $\cos \varphi_p = 1$;
- b) $\cos \varphi_p = 0.95$ (*ind*);
- c) $\cos \varphi_p = 0.95$ (*cap*).

Motor radi sa $\cos \varphi_M = 0$, odnosno radi kao sinhroni kompenzator.

35. Ako u slučaju pod a) iz prethodnog zadatka dati motor treba da pokreće neko mehaničko opterećenje, odrediti koliko ono najviše sme da bude, a da se ne prekorači nominalna prividna snaga motora. Kolika je u ovom slučaju ems usled pobude?

36. Sinhroni generator ima sledeće nominalne podatke: 71.5 MVA, 13.8 kV, $\cos \varphi_n = 0.8$, $x_d = 1.2 r.j$, $x_q = 0.5 r.j$. Odrediti maksimalnu aktivnu i odgovarajuću reaktivnu snagu koje bi se imale pri pobudnoj struji koja odgovara nominalnom opterećenju.

37. Trofazni SG sa podacima: $S_n = 10 \text{ MVA}$, $X_d = 120\%$, $X_q = 60\%$, bio je opterećen snagom od 6 MVA pri nominalnom naponu i učestanosti $\text{uzcos } \varphi = 0.65 \text{ (ind)}$. Pri pasivnom radu došlo je do prekida pobude. Odrediti pri tome:

- maksimalnu moguću snagu generatora;
- ugao snage i struju generatora u procentima, ako je aktivna snaga ostala ista;
- da li je moguć trajan rad generatora pri uslovima pod b).

38. Sinhrona mašina sa istaknutim polovima ima reluktantni moment čija je amplituda 30% od amplitude glavnog momenta. Izračunati:

- odnos uzdužne i poprečne reaktanse;
- relativnu vrednost maksimalnog momenta u odnosu na glavnu komponentu i odgovarajući ugao.

Odnos napona i ems praznog hoda je 0.6.

39. Dva trofazna sinhrona turbogeneratora napona 6.6 kV , paralelno spregnuta, napajaju mrežu snage 1000 kW sa $\text{cos } \varphi = 0.8 \text{ (ind)}$. Snage pogonskih mašina su podešene tako da jedan generator daje tri puta veću snagu od drugog. Generator koji je više opterećen ima reaktansu $X_{S1} = 24 \Omega$, a pobuda mu je podešena tako da radi sa sačinioem snage $\text{cos } \varphi_1 = 0.75 \text{ (ind)}$. Sinhrona reaktansa manje opterećenog generatora je $X_{S2} = 38 \Omega$. Izračunati:

- struje oba generatora;
- sačinilac snage oba generatora;
- ems praznog hoda prvog generatora;
- uglove snaga oba generatora;
- nacrtati vektorski dijagram.

U proračunima zanemariti otpor indukta.

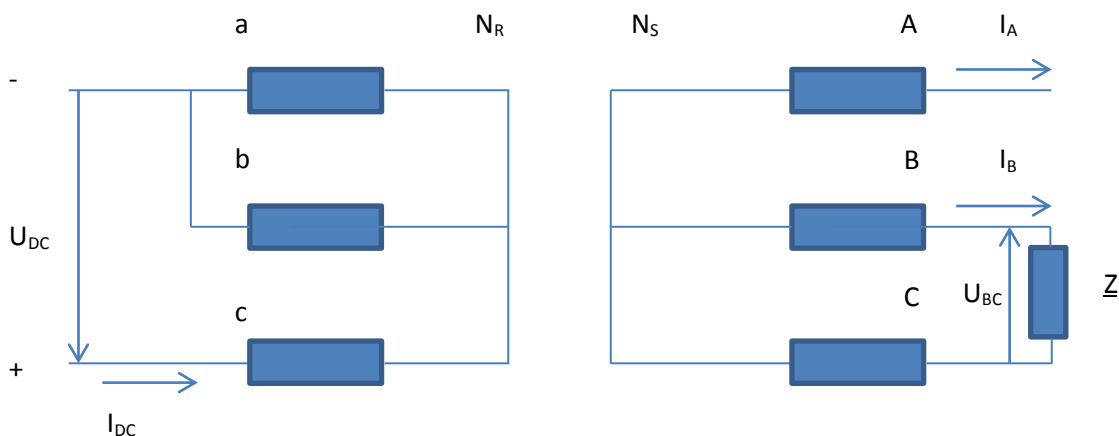
40. Trofazni SG spregnut u zvezdu ima sinhronu impedansu po fazi $\underline{Z}_{SG} = (1 + j20) \Omega$. U cilju ispitivanja, ovaj generator je mehanički spregnut sa drugom sinhronom mašinom čija je sinhrona impedansa $\underline{Z}_{SM} = (2 + j30) \Omega$, i koja radi kao motor u optimalnoj radnoj tački. Napon na krajevima generatora je $U_G = 2000 \text{ V}$, struja $I_G = 15 \text{ A}$, faktor snage $\text{cos } \varphi_G = 0.8 \text{ (ind)}$. Izračunati odgovarajuće ems svake od mašina, kao i ugaoni pomeraj između osa njihovih rotora. Obe mašine su osmopolne.

41. Dva istovetna paralelno spregnuta trofazna sinhrona generatora imaju pogonske mašine sa različitim karakteristikama brzine opterećenja. Pri podjednakim pobudama prvi generator daje 100 A uz $\cos \varphi_1 = 0.9$ (*ind*), a drugi 75 A uz $\cos \varphi_2 = 0.7$ (*ind*).

- Koliki procenat ukupne snage opterećenja daje svaki od generatora?
- Koliki je sačinilac snage opterećenja?
- Kada bi se pobuda generatora, to jest induktora, podesila tako da generatori rade sa istim sačiniocima snage, koliku bi struju davao svaki od njih?

42. Trofazni sinhroni motor ima sinhronu reaktansu $X = 100\%$ i tranzijentnu reaktansu $X' = 40\%$. Motor je sinhronizovan na mrežu nominalnog napona, neopterećen, i pobudna struja mu se postepeno povećava da vrednosti pri kojoj motor uzima nominalnu struju. Da li će motor ostati u stabilnom radu ako se moment opterećenja kratkotrajno poveća na 200% ? Smatrati da je trajanje prelazne pojave znatno kraće od tranzijentne vremenske konstante.

43. Trofazni asinhroni motor za 230 V , 50 Hz , sprege zvezda, koristi se kao jednofazni sinhroni generator napona 230 V . Potrošač \underline{Z} se napaja sa priključnih krajeva B i C , kao na slici. Jednosmerni napon se dovodi na rotor preko faze c , koja je povezana na red sa paralelnom vezom namotaja a i b . Odnos broja navojaka po fazi statora i rotora je $\frac{N_S}{N_R} = 1$. Reaktanse rasipanja statora i rotora su $2\ \Omega/\text{fazi}$; reaktansa magnećenja je $15\ \Omega/\text{fazi}$. Vrednosti reaktansi date su za nominalnu učestanost. Svi podaci odnose se na asinhroni motor. Sve vrednosti parametara već su svedene na stranu statora. Aktivne otpornosti namotaja mogu se zanemariti.



44. Trofazni sinhroni generator sprege zvezda, $S_n = 7.5\text{ kVA}$, $U_n = 380\text{ V}$, radi u praznom hodu sa nominalnim naponom. Generator se koristi za napajanje potrošača otpornosti $10\ \Omega$,

koji je priključen između jednog faznog i neutralnog provodnika. Mašina ima sinhronu reaktansu $x_s = x_d = 0.6$, reaktansu za sistem inverznog redosleda $x_i = 0.25$ i reaktansu za sistem nultog redosleda $x_0 = 0.05$. Sve reaktanse date su u relativnim jedinicama. Otpornosti namotaja mogu se zanemariti.

- a) Pokazati da je unutrašnja reaktansa generatora za jednofazno opterećenje jednaka trećini zbira reaktansi x_s, x_i i x_0 .
 - b) Odrediti efektivnu vrednost napona na opterećenju.
 - c) Izračunati efektivnu vrednost napona po fazi za trofazno uravnoteženo opterećenje od 10Ω po svakoj fazi i uporediti ga sa naponom pri jednofaznom opterećenju iz tačke b).
 - d) Kolike su efektivne vrednosti faznih napona preostala dva fazna namotaja (pri jednofaznom opterećenju)?
45. Za trofazni sinhroni turbogenerator sledećih podataka: $S_n = 50 \text{ MVA}, U_n = 10.5 \text{ kV}, f = 50 \text{ Hz}, \cos \varphi_n = 0.85, x_{ad} = 0.8 \text{ r.j.}, x_{\gamma a} = 0.2 \text{ r.j.}, x_{\gamma p} = 0.3 \text{ r.j.}, x_{\gamma k} = 0.1 \text{ r.j.}$ namotaji spregnuti u zvezdu. Odrediti struje i napone pojedinih faza, u relativnim i apsolutnim jedinicama u slučaju:

- a) trofaznog kratkog spoja;
- b) dvofaznog kratkog spoja.

Pre nastanka kvara generator je bio u praznom hodu, nominalno pobuđen. Aktivne otpornosti pojedinih namotaja se mogu zanemariti.

Napomena:

- x_{ad} – reaktansa reakcije indukta po uzdužnoj osi;
- $x_{\gamma a}$ – reaktansa rasipanja namotaja indukta;
- $x_{\gamma p}$ – reaktansa rasipanja pobudnog namotaja;
- $x_{\gamma k}$ – reaktansa rasipanja kompenzacionog (prigušnog) namotaja.

46. Odrediti struje i napone jednofaznog kratkog spoja trofaznog SG koji ima sledeće podatke: $S_n = 100 \text{ MVA}, U_n = 10.5 \text{ kV}, f = 50 \text{ Hz}, x_d = 0.9 \text{ r.j.}, x_i = 0.39 \text{ r.j.}, x_0 = 0.086 \text{ r.j.}$ sprega zvezda. Aktivna otpornost pojedinih namotaja se zanemaruje. Pre nastanka kratkog spoja generator je bio u praznom hodu, nominalno pobuđen.

47. Na trofaznom SG snage $S_n = 10 \text{ MVA}$, napona $U_n = 10.5 \text{ kV}$, sprega zvezda, izveden je dvofazni kratak spoj između faza B i C , pri čemu su dobijeni sledeći podaci: $I_B = 930 \text{ A}, U_{AC} = 5695 \text{ V}$. Reaktansa nultog redosleda iznosi $x_0 = 0.1 \text{ r.j.}$ Odrediti struje trofaznog i

jednofaznog kratkog spoja ovog generatora, u apsolutnim i relativnim jedinicama. Aktivne otpornosti se zanemaruju. Pre nastanka kratkog spoja, generator je bio u praznom hodu, nominalno pobuđen.

48. Šestopolni reluktantni trofazni motor za 220 V , 60 Hz , ima podužnu i poprečnu reaktansu $X_d = 15\ \Omega$ i $X_q = 3\ \Omega$. Otpornost statora i ostale gubitke zanemariti.

- a) Odrediti maksimalni moment koji motor može da razvije pre ispadanja iz sinhronizma.
- b) Odrediti maksimalni sačinilac snage pri kome motor može da radi, kao i mehaničku snagu koju u tom slučaju razvija.

49. Sinhroni motor ima sinhronu reaktansu $x_s = x_d = 90\%$ i tranzijentnu reaktansu u uzdužnoj osi $x'_d = 35\%$. Motor je sinhronizovan na mrežu nominalnog napona.

- a) Ne menjajući pobudu, postepeno se povećava otporni moment. Odrediti najveću vrednost momenta koju motor može da razvije, a da ne ispadne iz sinhronizma.
- b) Ne menjajući pobudu, nakon sinhronizacije se naglo poveća otporni moment. Kolika je najveća vrednost momenta opterećenja koju motor može podneti, a da pritom ne ispadne iz sinhronizma?

Napomena: Smatrati da je trajanje prelatne pojave znatno kraće od tranzijentne vremenske konstante motora i da je fluks pobudnog namotaja konstantan bar u prvoj periodu mehaničke oscilacije.

- c) Pretpostavimo da se moment opterećenja postepeno povećava do nominalne vrednosti i da je pobudna struja podešena tako da je struja motora u ovom režimu minimalna. Odrediti za koliko se najviše sme naglo povećati moment, a da motor ne ispadne iz sinhronizma.

Napomena: U svim proračunima otpornost statorskog namota, trenje i efekat prigušenja.

50. Sinhroni generator ima prigušni namotaj. Poznate su: reaktansa rasipanja statora $x_\sigma = 0.125$, reaktansa rasipanja rotora $x_{\sigma f} = 0.239$, reaktansa rasipanja ekvivalentnog prigušnog namotaja u uzdužnoj osi $x_{\sigma D} = 0.172$ i reaktansa magnećenja $x_{md} = 0.57$. Sve reaktanse su date u relativnim jedinicama. Odrediti relativne vrednosti subtranzijentne, tranzijentne i sinhronne reaktanse statorskog namotaja u uzdužnoj osi za slučaj trolejnog kratkog spoja.

51. Sinhroni generator za 50 Hz sa podacima iz prethodnog zadatka ima otpornost prigušnog namotaja $r_D = 0.0154$ i otpornost pobudnog namotaja $r_f = 0.00058$, u relativnim jedinicama. Odrediti vrednosti vremenskih konstanti T'_{d0} , T'_d i T''_d .
52. Ako se zna da je za generator iz prethodnog zadatka $r_S = 0.006$, odrediti maksimalne vrednosti struje troleznog kratkog spoja ako je generator pre nastanka kratkog spoja radio u praznom hodu sa nominalnim naponom.

REŠENJA ZADATAKA IZ SINHRONIH MAŠINA (OG3SM)

1.

- a) $2p = 76; n = 79 \text{ o/min}$
- b) $2p = 38; n = 79 \text{ o/min}$
- c) $2p = 92; n = 78.26 \text{ o/min.}$

2. $U = 367 \text{ V.}$

3.

- a) $E \cong 266.4 \text{ V;}$
- b) $e_a \cong 377 \cdot \sin 377t \text{ V;}$
 $e_b \cong 377 \cdot \sin(377t - 120^\circ) \text{ V;}$
 $e_c \cong 377 \cdot \sin(377t + 120^\circ) \text{ V;}$
- c) $e_{ab} \cong 652.54 \cdot \sin(377t + 30^\circ) \text{ V;}$
 $e_{bc} \cong 652.54 \cdot \sin(377t - 90^\circ) \text{ V;}$
 $e_{ca} \cong 652.54 \cdot \sin(377t - 210^\circ) \text{ V.}$

4. $E \cong 230.38 \text{ V (po fazi).}$

5. $f = 50 \text{ Hz; } E_f^{eff} = 1534.46 \text{ V; } E_{lin}^{eff} = 2657.76 \text{ V.}$

6.

- a) $E_1 = 100\%; E_3 = 30\%; E_5 = 20\%; \frac{E_{prov}}{E_1} = 1.063;$
- b) $E_1 = 100\%; E_3 = 18.55\%; E_5 = 0\%; \frac{E_{nav}}{E_1} = 1.017;$
- c) $E_1 = 100\%; E_3 = 14\%; E_5 = 0\%; \frac{E_{faze}}{E_1} = 1.01;$
- d) $E_1 = 100\%; E_3 = 0\%; E_5 = 0\%; \frac{E_{medufazno}}{E_1} = 1.$

7.

- a) $\frac{\Phi_1}{\Phi_0} = 0.9615; \frac{\Phi_3}{\Phi_0} = 0.1154; \frac{\Phi_5}{\Phi_0} = 0.0769;$
- b) $E_1 = 1; E_3 = 0.17; E_5 = 0; E_f = 1.014; E_l = \sqrt{3} = 1.73.$

8. $\beta = 36^\circ$ ili $\beta = 72^\circ$; Povoljnije je usvojiti rešenje $\beta = 72^\circ$, jer je raspodela tada približnija sinusnoj (manji je udeo viših harmonika u spektralnom sastavu indukcije; može

se preciznije pokazati pomoću faktora THD – Total Harmonic Distortion, ali je u ovom slučaju dovoljno konstatovati ovo približno, na osnovu amplitude osnovnog harmonika, koja je u slučaju kada je ugao $\beta = 72^\circ$ približnija B_m nego u slučaju kada je $\beta = 36^\circ$).

9. $\beta_5 = 18^\circ$; $\beta_7 = 13^\circ$.
10. $B_1 = 1.216 \cdot B_m$; $B_3 = 0.27 \cdot B_m$; $B_5 = 0.049 \cdot B_m$; $B_7 = -0.025 \cdot B_m$.
11. $B_1 = \frac{4}{\pi} \cdot B_m$; $B_3 = \frac{4}{3\pi} \cdot B_m$; $B_5 = \frac{4}{5\pi} \cdot B_m$; $B_7 = \frac{4}{7\pi} \cdot B_m$.
12. $B_1 = \frac{8}{\pi^2} \cdot B_m$; $B_3 = -\frac{8}{9\pi^2} \cdot B_m$; $B_5 = \frac{8}{25\pi^2} \cdot B_m$; $B_7 = -\frac{8}{49\pi^2} \cdot B_m$.
13. $E_{1f} = 2914.45 \text{ V}$; $E_{3f} = 501.40 \text{ V}$; $E_{5f} = 63.08 \text{ V}$; $E_f = 2958 \text{ V}$; $E_{lin} = 5049.16 \text{ V}$.
14. $I_f = 396.7 \text{ A}$; **NAPOMENA:** Prilikom rešavanja zadatka razmatrati osnovne harmonike MPS, odnosno fluksa!
15. $X_s^{(n)} = 28.867 \Omega$; $X_s^{(z)} = 22.854 \Omega$ – vrednosti reaktansi u apsolutnim jedinicama;
 $x_s^{(n)} = 1.0526 \text{ p.u.}$; $x_s^{(z)} = 0.8333 \text{ p.u.}$ – vrednosti reaktansi u relativnim jedinicama;
 $OKS = \frac{x_s^{(n)}}{x_s^{(z)}} = 1.263$ - odnos kratkog spoja.
16.
 - a) $E_0 = 2062 \text{ V}$; $\Delta u = 3.08\%$;
 - b) $E_0 = 2335 \text{ V}$; $\Delta u = 16.73\%$;
 - c) $E_0 = 1684 \text{ V}$; $\Delta u = -15.8\%$.
17.
 - a) $\angle(\underline{E}_\delta, \underline{U}) = \alpha = 8.3^\circ$; $X_\gamma = 2.745 \Omega$;
 - b) $E_\delta = 3701.5 \text{ V}$ - fazna vrednost.
18.
 - a) $FR(ind) = 0.44$; $FR(cap) = -0.2$;
 - b) $\cos \varphi = 0.9523(cap)$.
19.
 - a) $M_{max} = 123.34 \text{ kNm}$;

b) $M_{max} = 123.34 \text{ kNm}$; $U = 1122.5 \text{ V}$.

20.

a) $I_g = 7216.88 \angle -3.58^\circ \text{ A}$; $E_f = 18924.91 \angle 46.63^\circ \text{ V}$;

b) $I_g = 14433.8 \angle -7.18^\circ \text{ A}$; $E_f = 29262.4 \angle 69.16^\circ \text{ V}$.

21.

a) $I_f = 9.85 \text{ A}$;

b) $P_{max} = 3.47 \text{ kW}$; $\cos \varphi = 0.85$ (cap).

22.

a) 1.376 puta;

b) 0.748 puta.

23. $1.77 \angle 19.4^\circ$.

24.

a) $\delta = 19.96^\circ$; $E_f = 2382.77 \text{ V}$;

b) $P_{max} = 5566 \text{ kW}$; $M_{max} = 175 \text{ kNm}$.

25.

a) Vežbe;

b) $\delta_G = 44.83^\circ$ – ugao između ems i napona generatora;

$\delta_m = 51.18^\circ$ – ugao između ems i napona mreže;

c) $u_G = 1.03 \text{ p.u}$; $e_f = 2.29 \text{ p.u}$.

26. $p_{max} = 0.245 \text{ p.u}$; $i = 1.443 \text{ p.u}$.

27. $i_{fmin} = 0.85 \text{ p.u}$.

28.

a) $\delta = 36.69^\circ$; $\cos \varphi = 0.83$; $p = 0.747 \text{ p.u}$; $q = 0.502 \text{ p.u}$;

b) $\delta = 64.59^\circ$; $\cos \varphi = 0.988$; $p = 0.792 \text{ p.u}$; $q = 0.124 \text{ p.u}$;

NAPOMENA: Kod motora je usvojeno da je ugao snage δ pozitivan kada ems kasni za naponom. Moguće je usvojiti i suprotan smer ugla δ za pozitivan, ali je neophodno napomenuti šta je usvojeno, i voditi računa o tome prilikom rešavanja zadatka;

c) Generator – proizvodi reaktivnu energiju;

Motor – troši reaktivnu energiju;

- d) Generator je dovoljno pobuđen, a motorje potpobuđen. Ovo se pokazuje tako što se odredi pobudna struja (odnosno ems usled pobude) pri zadanom naponu i aktivnom opterećenju, za $\cos \varphi = 1$. Dobijena pobudna struja uporedi se sa zadanom. Ukoliko je zadata pobuda manja od one dobijene za $\cos \varphi = 1$, mašina je potpobuđena. U suprotnom, mašina je nadpobuđena. Ovo je jedan od mogućih pristupa.

29.

- a) $E_f = 306.94 V$; $\delta = 9.355^\circ$; $M_{max} = 2412.5 Nm$;
b) $\cos \varphi \cong 1$; $\delta = 44.42^\circ$; $M_T = 1688.8 Nm$.

30.

$I_f [A]$	542.86	1064.3	1757.14	2414.3
$L_f [mH]$	6.96	6.31	4.70	3.71
$\tau_f [s]$	3.48	3.16	2.35	1.86

31.

- a) $E_0 = 9.30 kV$; $\delta = 11.16^\circ$;
b) $k_{SM} = 782.88 \frac{kNm}{rad}$.

32.

- a) $k_{SP} = 248.29 \frac{MW}{rad}$;
b) $k_{SM} = 15.81 \frac{MNm}{rad}$.

33.

- a) $\cos \varphi = 0.5497 (ind)$; $Q = 68.5 kVAr$;
b) $E_f = 134.12 V$; $\delta_{el} = -30.71^\circ$; $\delta_{meh} = -15.35^\circ$;
c) $M_{max} = 562 Nm$; $\nu = 1.96$ – u odnosu na zadato opterećenje;
d) $\cos \varphi = 0.596$; $\delta = -7.41^\circ$.

34.

- a) $Q_k = 300 kVAr$;
b) $Q_k = 168.52 kVAr$;
c) $Q_k = 431.5 kVAr$.

35. $P_{meh}^{max} = 264.58 kW$; $E_f = 7128.82 \angle -20.7^\circ V$.

36. $P_{max} = 135.85 \text{ MW}$; $Q_{max} = -75.93 \text{ MVar}$.

37.

a) 4.167 MW ;

b) $\delta = 34.7^\circ$; $i = 117\%$;

c) Kako je struja generatora pod (b) veća za 17% od nominalne struje generatora, trajan rad u ovakvim uslovima nije moguć, jer bi došlo do termičkog preopterećenja statorskog namotaja.

38.

a) $\frac{X_d}{X_q} = 2$;

b) $\frac{M_{max}}{M_{gl}} = 1.136$.

39.

a) $I_1 = 87.48 \angle -41.4^\circ \text{ A}$; $I_2 = 23.2 \angle -19.5^\circ \text{ A}$;

b) $\cos \varphi_1 = 0.75 \text{ (ind)}$; $\cos \varphi_2 = 0.943 \text{ (ind)}$;

c) $E_{f1} = 5432.25 \text{ V}$;

d) $\delta_1 = 16.85^\circ$; $\delta_2 = 11.44^\circ$;

e) Vežbe.

40. $\underline{E}_G = 1366.37 \angle 9.37^\circ \text{ V}$; $\underline{E}_M = 1190 \angle -18.31^\circ \text{ V}$; $\Delta_{meh} \cong 7^\circ$ – mehanički pomeraj.

41.

a) $p_1 = 63.16\%$; $p_2 = 36.84\%$;

b) $(\cos \varphi)_{opt} = 0.826 \text{ (ind)}$;

c) $I_1 = 108.9 \text{ A}$; $I_2 = 63.56 \text{ A}$.

42. Motor će ostati u stabilnom radu, što se može pokazati primenom metode jednakih površina (vežbe, predavanja). Površina „ubrzavanja“ $A_1 = 0.588$ manja je od površine „usporavanja“ $A_2 = 1.893$, što je kriterijum za stabilnost. Ovaj princip ne može biti kompletno objašnjen na ovom mestu, već je detaljno obrađen na časovima predavanja i računskih vežbi.

43.

a) Dokaz je detaljno izveden na časovima računskih vežbi;

b) $I_{DC} = I_f = 28.85 \text{ A}$.

44.

- a) Dokaz je detaljno izveden na časovima predavanja i računskih vežbi;
- b) $U_{opt} = 190 V$;
- c) $U_{opt}^{3f} = 143.6 V$;
- d) $U_B = 177.58 V$; $U_C = 218.11 V$.

45.

- a) $\underline{i}_a = 1 \angle -90^\circ p.u$; $\underline{I}_a = 2749.3 \angle -90^\circ A$;
 $\underline{i}_b = 1 \angle 150^\circ p.u$; $\underline{I}_b = 2749.3 \angle 150^\circ A$;
 $\underline{i}_c = 1 \angle 30^\circ p.u$; $\underline{I}_c = 2749.3 \angle 30^\circ A$;
 $u_a = u_b = u_c = 0$; $U_a = U_b = U_c = 0$;
- b) $\underline{i}_b = -\underline{i}_c = 1.366 \angle 180^\circ p.u$; $\underline{I}_b = -\underline{I}_c = 3756.4 \angle 180^\circ A$; $I_a = 0$;
 $\underline{u}_a = 0.422 p.u$; $\underline{U}_a = 2.56 kV$;
 $\underline{u}_b = \underline{u}_c = 0.211 \angle 180^\circ p.u$; $\underline{U}_b = \underline{U}_c = 1.28 \angle 180^\circ kV$.

46. $\underline{I}_a = -j11.99 kA$; $\underline{U}_b = 3.35 \angle -100^\circ kV$; $\underline{U}_c = 3.35 \angle 100^\circ kV$; $\underline{U}_a = \underline{I}_b = \underline{I}_c = 0$.

47. 3fks: $i_{3pks} = 1.42 p.u$; $I_{3pks} = 781 A$;
1fks: $i_{1pks} = 2.67 p.u$; $I_{1pks} = 1468 A$;

48.

- a) $M_{max} = 51.35 Nm$;
- b) $(\cos \varphi)_{max} = 0.667$; $P_{meh}^{max} = 4.81 kW$.

49.

- a) $M_{max} = 1.11 p.u$;
- b) $M_{max1}^{naglo} = 2.17 p.u$;
- c) $M_{max2}^{naglo} = 1.482 p.u$.

50. $x_d'' = 0.21 (21\%)$; $x_d' = 0.293 (29.3\%)$; $x_d = x_s = 0.695 (69.5\%)$.

51. $T_{d0}' = 3.816 s$; $T_d'' = 0.0504 s$; $T_d' = 1.875 s$.

52. $I_{max} = 12.84 p.u$.

NAPOMENA: Prilikom određivanja maksimalne struje, potrebno je najpre napisati izraz za vremenski oblik struje kratkog spoja, a zatim odrediti maksimalnu struju za kritičan slučaj.

RAČUNSKE VEŽBE IZ SINHRONIH MAŠINA (OG3SM)

TEKSTOVI ZADATAKA

1. Vodena turbina za pogon hidrogeneratora ima optimalnu ekonomičnu brzinu od približno 78 ob/min . Odrediti broj polova i najbližu izvodljivu brzinu obrtanja za sa njom direktno spregnute sinhronne generatore za učestanost:
 - a) 50 Hz
 - b) 25 Hz
 - c) 60 Hz .
2. Motor predviđen za napon 440 V , 60 Hz želimo da priključimo na mrežu učestanosti 50 Hz . Za koji napon te učestanosti će indukcija ostati nepromenjena?
3. Mali ogleadni trofazni četvoropolni SG ima koncentrisani dijametralni namot. Svaka sekcija ima 20 navojaka, a svi navojci iste faze vezani su na red. Fluks po polu iznosi 0.025 Wb i raspodeljen je sinusoidalno u vazdušnom zazoru mašine. Rotor se obrće brzinom od 1800 ob/min .
 - a) Odrediti efektivnu vrednost indukovane ems po fazi.
 - b) Usvojimo da je fazni redosled a, b, c i da je u početnom trenutku fluks kroz fazu a maksimalan. Napisati grupu vremenskih jednačina za tri fazne ems između krajeva a, b, c i neutralne tačke namota spregnutog u zvezdu.
 - c) Pod uslovima izvedenim b), napisati grupu vremenskih jednačina za ems-e između faza a i b, b i c, c i a.
4. Trofazni dvopolni generator ima na statoru namot sa 60 provodnika po fazi čiji je navojni sačinilac 0.92. Rotor generatora okreće se brzinom od 3000 ob/min . Magnetni fluks sinusne raspodele u zazoru okreće se brzinom od 3000 ob/min i njegova vrednost je $3.76 \cdot 10^{-2} \text{ Wb/pol}$. Odrediti indukovanu ems praznog hodau jednoj fazi.
5. Trofazni šesnaestopolni SG sa faznim namotima spregnutim u zvezdu ima 144 žleba, 10 provodnika po žlebu i namot sa punim navojnim korakom. Magnetni fluks po polu je $3 \cdot 10^{-2} \text{ Wb}$, sinusnog je oblika i obrće se brzinom od 39.3 rad/s . Odrediti učestanost i vrednosti indukovane ems po fazi i između faza ako su svi provodnici indukta vezani na red.
6. Data je raspodela fluksa u zazoru trofazne mašine za na izmehičnu struju: $B = \sin \theta + 0.3 \cdot \sin 3\theta + 0.2 \cdot \sin 5\theta \text{ [T]}$. Namotaj je dvoslojni, navojni korak namota je $4/5$ polnog koraka, a

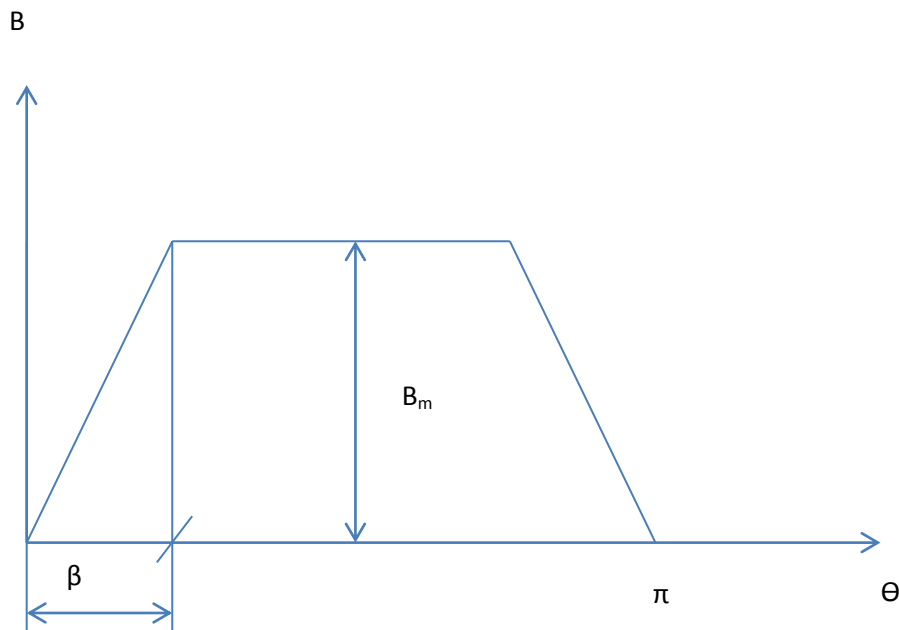
broj žlebova po polu i fazi je 5. Odrediti procentualni sadržaj harmonika kao i relativne efektivne vrednosti, u odnosu na osnovni harmonik, elektromotornih sila indukovanih:

- u provodniku,
- u navojku,
- u fazi,
- između faza.

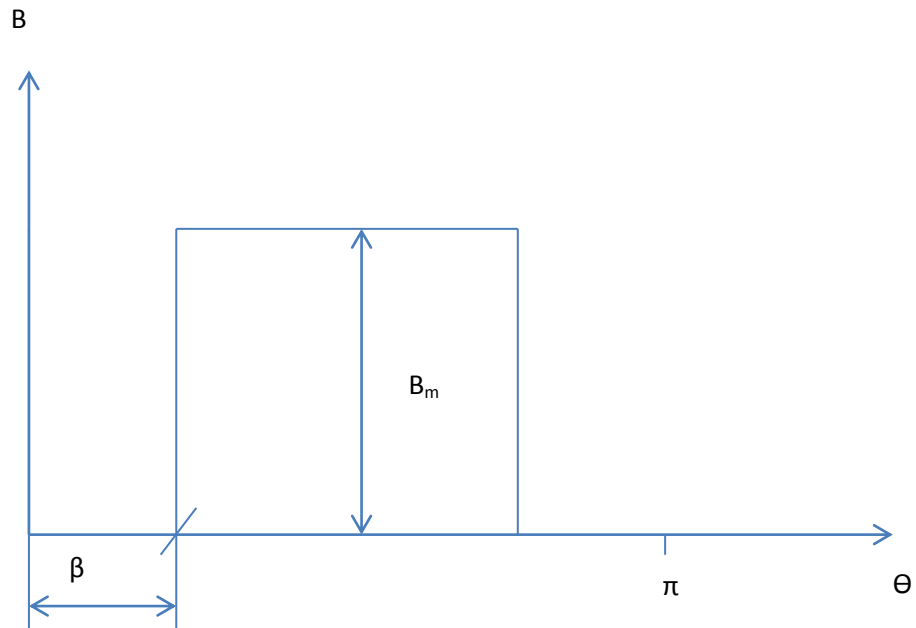
7. Promena indukcije u zazoru električne mašine je $B = B_m \cdot (\sin \theta + 0.36 \cdot \sin 3\theta - 0.40 \cdot \sin 5\theta)$.

- Izračunati procentualne vrednosti flukseva pojedinih harmonika u odnosu na rezultatni fluks.
- Ako je namotaj trofazni dvoslojni, sa 5 žlebova po polu i fazi, navojni korak skraćen za $1/5$, a efektivna vrednost ems prvog harmonika jednaka 1, izračunati efektivne vrednosti ems viših harmonika i efektivnu vrednost fazne i međufazne ems pri sprezi zvezda.

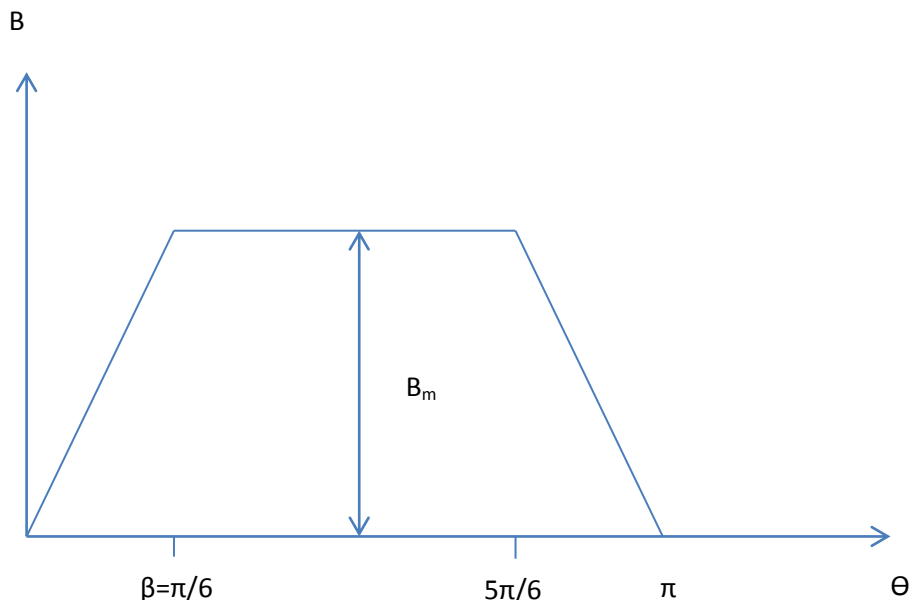
8. Polje koje stvara cilindrični induktor sinhronne mašine ima trapezni oblik kao na slici. Za koje vrednosti ugla β će peti harmonik indukcije u zazoru biti jednak nuli? Izračunati vrednost osnovnog harmonika za te vrednosti ugla. Koje je rešenje povoljnije usvojiti i zašto?



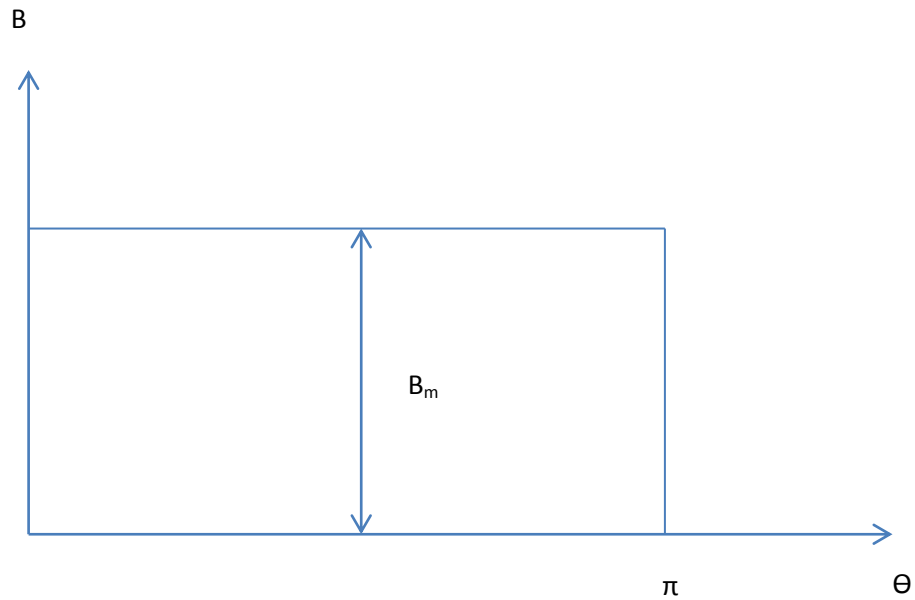
9. Polje koje stvara induktor sinhronne mašine sa istaknutim polovima ima pravougaoni oblik ako je zazor pod polom konstantan kao na slici. Za koje vrednosti ugla β će vrednost petog, odnosno sedmog harmonika indukcije u zazoru biti jednaka nuli?



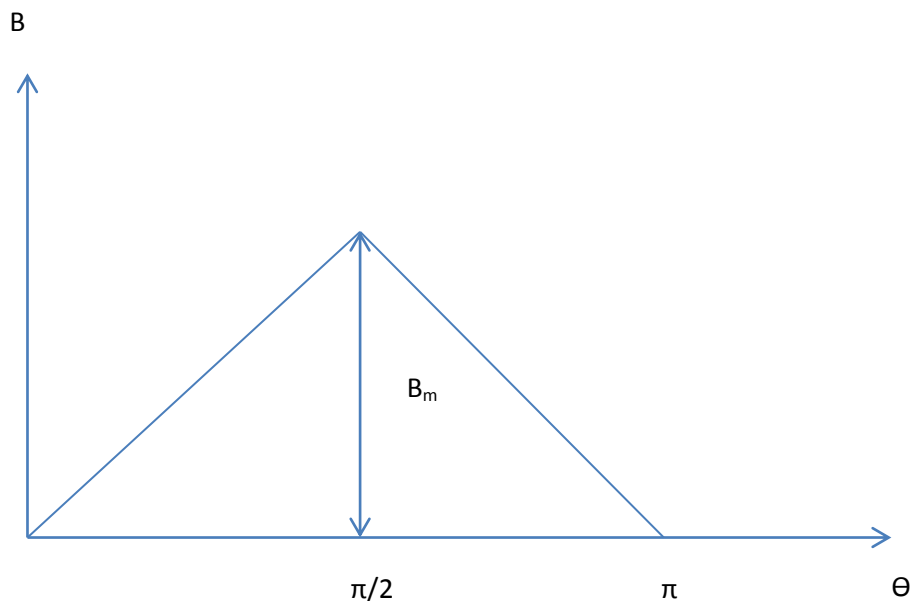
10. Ako je indukcija u zazoru sinhronne mašine predstavljena trapeznom krivom kao na slici, odrediti amplitude 1, 3, 5 i 7. harmonične komponente indukcije.



11. Odrediti amplitude traženih harmonika krive indukcije iz prethodnog zadatka za $\beta = 0$, tj. za pravougaoni oblik polja.



12. Odrediti amplitude traženih harmonika krive indukcije iz 10. zadatka za $\beta = 90^\circ$, tj. za trougaoni oblik polja.



13. Indukt trofazne osmopolne mašine za naizmeničnu struju, spregnut u zvezdu, za učestanost 60 Hz , ima 24 žleba po polu. Navojni korak je $5/6$, a svaki navojni deo ima 4 navojka vezana na red. Namotaj je dvoslojni. Promena magnetne indukcije u vazdušnom zazoru data je izrazom: $B(\theta) = B_m \cdot (\sin \theta + 0.35 \cdot \sin 3\theta - 0.40 \cdot \sin 5\theta)$, gde je θ ugaono rastojanje u

električnim radijanima, mereno od tačke u kojoj je magnetna indukcija jednaka nuli. Mašina je neopterećena, rotor mašine obrće se sinhronom brzinom. Ukupni fluks u vazдушnom procepu mašine je 48 mWb/polu . Naći efektivne fazne i linijske napone.

14. Trofazni sinhroni turbogenerator sa podacima: $2 \text{ MVA}, 1000 \text{ V}, 50 \text{ Hz}, p = 2$, ima 60 žlebova na statoru i 100 navojaka u fazi, a 56 žlebova popunjenih namotom na rotoru sa 500 navojaka. Na rotoru su žlebovi raspoređeni na $2/3$ polnog koraka ($\frac{m_2}{z_2} = \frac{2}{3}$). Odrediti pobudnu struju potrebnu koja je potrebna da bi se kompenzovala reakcija indukta statora ako generator daje u mrežu 70% nominalne snage uz sačinilac snage jednak nuli. Oba namota imaju pun korak motanja ($\gamma = \tau$).

15. Ispitivanjem trofaznog sinhronog generatora spregnutog u zvezdu utvrđeno je sledeće: tangenta povučena na karakteristiku praznog hoda u koordinatnom početku prolazi kroz tačku ($120 \text{ V}, 1.5 \text{ A}$). Za nominalni napon od 380 V u praznom hodu potrebna je pobudna struja od 6 A . Za nominalnu dstruju od 8 A u kratkom spoju potrebna je pobudna struja od 5 A . Odrediti stvarnu i relativnu vrednost nezasićene i zasićene sinhronne reaktanse kao i odnos kratkog spoja, zanemarujući aktivni otpor indukta.

16. Pri ispitivanju jednofaznog sinhronog generatora u kratkom spoju dobijena je struja od 100 A pri pobudnoj struji od 2.5 A , a u praznom hodu je izmeren napon od 500 V pri istoj pobudnoj struji. Odrediti indukovanu ems i relativne promene napona između punog opterećenja i praznog hoda, pri opterećenju od 100 A i naponu 2000 V , za faktore opterećenja:

- a) $\cos \varphi = 1$,
- b) $\cos \varphi = 0.8 \text{ (ind)}$,
- c) $\cos \varphi = 0.8 \text{ (cap)}$.

Napomena: U proračunima zanemariti aktivni otpor indukta.

17. Trofazni SG sprege namotaja zvezda, za 6.4 kV , opterećen je strujom od 250 A uz $\cos \varphi = 0.85 \text{ (ind)}$. Zajednička ems generatora iznosi $E_\delta = 7 \text{ kV}$. Zanemarujući omski otpor statora odrediti:

- a) ugao između zajedničke ems i napona ($\angle(E_\delta, U) = ?$) i reaktansu rasipanja ($X_\gamma = ?$),
- b) vrednost zajedničke ems pri kojoj generator daje istu struju uz $\cos \varphi = 1$.

Zajednička ems – ems koja je srazmerna fluksu u zazoru mašine.

18. Turbogenerator snage 2500 kVA , 6600 V , radi pri nominalnom opterećenju i faktoru snage $\cos \varphi = 0.8$ (*ind*) i $\cos \varphi = 0.8$ (*cap*). Sinhrona reaktansa namotaja je 10.4Ω .

- a) Izračunati odnos regulacije (faktor regulacije).
- b) Izračunati faktor snage pri faktoru regulacije jednakom nuli, a za nominalno opterećenje generatora. Otpornost namotaja statora je 0.071Ω .

19. Sinhroni motor snage 1500 kW , faktora snage $\cos \varphi = 1$, 2300 V , 60 Hz , sprege zvezda, trideset polova, ima sinhronu reaktansu od 1.95Ω po fazi.

- a) Izračunati maksimalni moment koji motor može da razvije ako se napaja iz čvrste mreže 2300 V , 60 Hz , uz konstantnu struju pobude i konstantan faktor snage jednak jedinici.
- b) Pretpostaviti da se motor napaja iz trofaznog dvopolnog turbogeneratora napona 2300 V , sprege zvezda, snage 1750 kVA , 3600 ob/min , sinhronu reaktansu 2.65Ω po fazi. Generator se obrće nominalnom brzinom, a pobude motora i generatora su podešene tako da motor radi sa faktorom snage $\cos \varphi = 1$ pri nominalnoj snazi i nominalnom naponu. Ako se pobudne struje održavaju konstantnim, a opterećenje motora se polako povećava, izračunati maksimalni moment koji motor razvija i napon na njegovim krajevima u tom režimu.

20. Četvoropolni SG snage 600 MVA , 24 kV , 60 Hz , $X_S = 1.67 \Omega$, priključen je na sistem koji čine tvrda mreža 24 kV i reaktansa 0.24Ω . Regulator pobude generatora održava napon na krajevima generatora konstantnim i jednakim 24 kV nezavisno od opterećenja generatora.

- a) Nacrtati fazorski dijagram ako je snaga koju daje generator 300 MVA . Odrediti vrednost struje generatora i njen fazni stav u odnosu na napon generatora. Odrediti vrednost ems generatora.
- b) Ponoviti proračune pod a) za opterećenje generatora od 600 MVA .

21. Ispitivanjem SG u praznom hodu pri nominalnom faznom naponu 220 V , izmerena je struja pobude $I_f = 6 \text{ A}$, a u kratkom spoju pri nominalnoj struji od 8 A izmerena je pobudna struja $I_f = 5 \text{ A}$. Ako je mašina priključena na nominalni napon, odrediti:

- a) pobudnu struju pri nominalnoj struji uz $\cos \varphi = 0.8$ (*ind*),
- b) maksimalnu snagu pri istoj pobudnoj struji, odgovarajući sačinilac snage i karakter opterećenja.

Napomena: Zanemariti rezistansu statora. Mašina je JEDNOFAZNA.

22. Trofazni SG snage 60 MVA priključen je na mrežu stalnog napona 13.2 kV, $x_s = 1.2 r.j.$. Ukoliko turbina predaje sinhronoj mašini snagu od 50 MW, a pobuda je podešena tako da je sačinilac snage jednak jedinici, izračunati koliko puta je potrebno:

- a) povećati (u slučaju opterećenja induktivnog karaktera),
- b) smanjiti (u slučaju opterećenja kapacitivnog karaktera),

pobudnu struju, dok struja statora ne postigne nominalnu vrednost. Zanimariti gubitke u mašini.

23. Generator sa istaknutim polovima ima vrednost sinhronih reaktansi $x_d = 1 r.j.$ i $x_q = 0.6 r.j.$, $R_a \approx 0$. Izračunati ems usled pobude kada generator radi sa nominalnom snagom i nominalnim naponom uz faktor snage $\cos \varphi = 0.8 (ind)$.

24. Trofazni SG snage 3 MVA, 2300 V, sprege zvezda, 60 Hz, $2p = 24$, zanemarljive otpornosti statora, ima reaktanse po fazi $X_d = 1.8 \Omega$ i $X_q = 1.1 \Omega$.

- a) Izračunati ugao snage i ems usled pobude ako generator radi sa nominalnom snagom na krutoj mreži 2300 V, 60 Hz i sačinioem snage $\cos \varphi = 0.8 (ind)$;
- b) Kolika je maksimalna snaga i moment ako pobudna struja ne menja svoju vrednost?

Nacrtati odgovarajuće fazorske dijagrame i zanemariti gubitke u mašini.

25. Trofazni SG sa reaktansama (po fazi) $X_d = 180\%$ i $X_q = 165\%$ priključen je na krutu mrežu nominalne vrednosti napona, preko reaktanse $X_e = 12\%$. Generator radi sa nominalnom snagom i faktorom snage $\cos \varphi = 0.95 (ind)$, mereno na priključcima generatora.

- a) Nacrtati fazorski dijagram;
- b) Odrediti ugao snage (misli se na ugao između ems i napona na priključcima generatora);
- c) Odrediti efektivne vrednosti napona na krajevima generatora i ems usled pobude (relativne vrednosti, u odnosu na napon mreže)

26. Koliku snagu u r.j. može isporučiti sinhrona mašina bez gubitka sinhronizma kada radi kao motor pri nominalnom naponu i bez pobude? Podaci mašine su $x_d = 0.85 r.j.$ i $x_q = 0.6 r.j.$. Izračunati struju motora u relativnim jedinicama. Zanimariti gubitke u mašini.

27. Posmatra se mašina iz prethodnog zadatka. Ako se zanemari isturenost polova i smatra da je vrednost sinhrona reaktanse $X_s = 85\%$, odrediti minimalnu vrednost pobudne struje potrebnu da mašina ostane u sinhronizmu pri nominalnom opterećenju. Zanimariti gubitke u mašini.

28. Sinhrona mašina ima relativnu vrednost sinhronne reaktanse $x_S = 2 r.j.$ Odrediti ugao opterećenja δ , faktor snage, aktivnu i reaktivnu snagu, ako mašina radi:

- kao generator pri pobudi $2.5 r.j.$ i struji opterećenja od $0.9 r.j.$;
- kao motor pri pobudi $1.75 r.j.$ i struji opterećenja od $0.9 r.j.$
- Da li mašina proizvodi ili troši reaktivnu energiju u ova dva slučaja?
- Da li je mašina dovoljno pobuđena u oba slučaja?

Smatrati da je mašina nezasićena. Bazna vrednost pobude odgovara nominalnoj vrednosti napona u praznom hodu. Zanimariti aktivnu otpornost statorskog namotaja.

29. Šestopolni sinhroni generator sprege zvezda ima sledeće nominalne podatke: $U_n = 380 V, f = 50 Hz, X_S = 0.8 \Omega$. Kada ovaj generator mreži daje snagu od $80 kVA$, moment turbine iznosi $M_T = 392 Nm$.

- Odrediti indukovanu ems, ugao snage i maksimalni moment;
- Na krajevima generatora se u cilju kompenzacije reaktivne energije priključi još i opterećenje sa sačinioem snage od 0.8943 i aktivnom snagom $P_d = 135.8 kW$. Za ovo stanje odrediti sačinilac snage, ugao snage i potreban pogonski moment turbine ako napon na krajevima mašine i pobudna struja ostaju konstantni.

Zanimariti omski otpor statora i ostale gubitke u mašini.

30. Poznata je karakteristika magnećenja hidrogeneratora snage $90 MVA$:

Φ	0.27	0.48	0.59	0.64	[Wb]
F	7600	14900	24600	33800	[A · nav/polu]

Broj navojaka po polu pobudnog namotaja je 14, a njihov omski otpor 0.002Ω .

Izračunati i dati u obliku tablice, induktivnosti po polu induktora i odgovarajuću vremensku konstantu, u funkciji pobudne struje.

31. Trofazni SG sa nominalnom snagom sa nominalnom snagom $S_n = 10 MVA$, naponom $U_n = 10.3 kV, 50 Hz, p = 10, \cos \varphi_n = 0.8, X_d = 100\%, X_q = 50\%$, opterećen je snagom $S = 7 MVA$, pri čemu je ugao između ems i struje statora $\varphi = 56.4^\circ$. Odrediti:

- relativnu vrednost ems praznog hoda E_0 i veličinu ugla δ ;
- vrednost sinhronizacionog momenta k_{SM} pri zadatom opterećenju.

32. Trofazni SG snage 150 MVA ima sledeće parametre: $X_d = 1.25 r.j$, $X_q = 0.9 r.j$, $p = 20$. Pri nominalnom naponu i faktoru snage $\cos \varphi_n = 0.8$ (*ind*), odrediti:

- a) sačinilac sinhronizacione snage k_{SP} ;
- b) sačinilac sinhronizacionog momenta k_{SM} .

Generator je nominalno opterećen.

33. Sinhroni motor sa cilindričnim rotorom ima sledeće podatke: 380 V, 50 Hz, četvoropolni, sprega zvezda, $X_S = 1 \Omega$. Motor je podpobuđen i razvija moment od 287 Nm pri čemu uzima iz mreže 82 kVA. Zanemarujući gubitke, odrediti:

- a) faktor snage i reaktivnu snagu;
- b) ems, električni i mehanički ugao snage;
- c) maksimalni moment i stepen preopteretljivosti;
- d) ako se moment smanji na 145 Nm, a ems poveća 2 puta, odrediti novi faktor snage i ugao snage.

34. Sinhroni motor sa podacima: 6600 V, 400 kVA, $X_S = 100\%$, potrebno je iskoristiti za popravku sačinioaca snage jednog industrijskog postrojenja. Snaga postrojenja je 400 kW pri $\cos \varphi_p = 0.8$ (*ind*). Otpor indukta i gubici u motoru se mogu zanemariti. Odrediti reaktivnu snagu potrebnu da se sačinilac snage postrojenja popravi na:

- a) $\cos \varphi_p = 1$;
- b) $\cos \varphi_p = 0.95$ (*ind*);
- c) $\cos \varphi_p = 0.95$ (*cap*).

Motor radi sa $\cos \varphi_M = 0$, odnosno radi kao sinhroni kompenzator.

35. Ako u slučaju pod a) iz prethodnog zadatka dati motor treba da pokreće neko mehaničko opterećenje, odrediti koliko ono najviše sme da bude, a da se ne prekorači nominalna prividna snaga motora. Kolika je u ovom slučaju ems usled pobude?

36. Sinhroni generator ima sledeće nominalne podatke: 71.5 MVA, 13.8 kV, $\cos \varphi_n = 0.8$, $x_d = 1.2 r.j$, $x_q = 0.5 r.j$. Odrediti maksimalnu aktivnu i odgovarajuću reaktivnu snagu koje bi se imale pri pobudnoj struji koja odgovara nominalnom opterećenju.

37. Trofazni SG sa podacima: $S_n = 10 \text{ MVA}$, $X_d = 120\%$, $X_q = 60\%$, bio je opterećen snagom od 6 MVA pri nominalnom naponu i učestanosti $\text{uzcos } \varphi = 0.65 \text{ (ind)}$. Pri pasivnom radu došlo je do prekida pobude. Odrediti pri tome:

- maksimalnu moguću snagu generatora;
- ugao snage i struju generatora u procentima, ako je aktivna snaga ostala ista;
- da li je moguć trajan rad generatora pri uslovima pod b).

38. Sinhrona mašina sa istaknutim polovima ima reluktantni moment čija je amplituda 30% od amplitude glavnog momenta. Izračunati:

- odnos uzdužne i poprečne reaktanse;
- relativnu vrednost maksimalnog momenta u odnosu na glavnu komponentu i odgovarajući ugao.

Odnos napona i ems praznog hoda je 0.6.

39. Dva trofazna sinhrona turbogeneratora napona 6.6 kV , paralelno spregnuta, napajaju mrežu snage 1000 kW sa $\text{cos } \varphi = 0.8 \text{ (ind)}$. Snage pogonskih mašina su podešene tako da jedan generator daje tri puta veću snagu od drugog. Generator koji je više opterećen ima reaktansu $X_{S1} = 24 \Omega$, a pobuda mu je podešena tako da radi sa sačiniocem snage $\text{cos } \varphi_1 = 0.75 \text{ (ind)}$. Sinhrona reaktansa manje opterećenog generatora je $X_{S2} = 38 \Omega$. Izračunati:

- struje oba generatora;
- sačinilac snage oba generatora;
- ems praznog hoda prvog generatora;
- uglove snaga oba generatora;
- nacrtati vektorski dijagram.

U proračunima zanemariti otpor indukta.

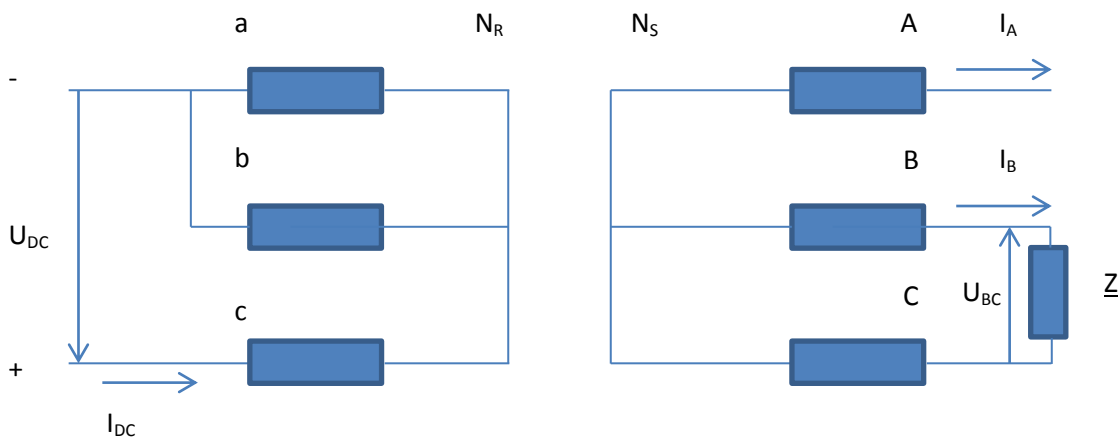
40. Trofazni SG spregnut u zvezdu ima sinhronu impedansu po fazi $\underline{Z}_{SG} = (1 + j20) \Omega$. U cilju ispitivanja, ovaj generator je mehanički spregnut sa drugom sinhronom mašinom čija je sinhrona impedansa $\underline{Z}_{SM} = (2 + j30) \Omega$, i koja radi kao motor u optimalnoj radnoj tački. Napon na krajevima generatora je $U_G = 2000 \text{ V}$, struja $I_G = 15 \text{ A}$, faktor snage $\text{cos } \varphi_G = 0.8 \text{ (ind)}$. Izračunati odgovarajuće ems svake od mašina, kao i ugaoni pomeraj između osa njihovih rotora. Obe mašine su osmopolne.

41. Dva istovetna paralelno spregnuta trofazna sinhrona generatora imaju pogonske mašine sa različitim karakteristikama brzine opterećenja. Pri podjednakim pobudama prvi generator daje 100 A uz $\cos \varphi_1 = 0.9$ (*ind*), a drugi 75 A uz $\cos \varphi_2 = 0.7$ (*ind*).

- Koliki procenat ukupne snage opterećenja daje svaki od generatora?
- Koliki je sačinilac snage opterećenja?
- Kada bi se pobuda generatora, to jest induktora, podesila tako da generatori rade sa istim sačiniocima snage, koliku bi struju davao svaki od njih?

42. Trofazni sinhroni motor ima sinhronu reaktansu $X = 100\%$ i tranzijentnu reaktansu $X' = 40\%$. Motor je sinhronizovan na mrežu nominalnog napona, neopterećen, i pobudna struja mu se postepeno povećava da vrednosti pri kojoj motor uzima nominalnu struju. Da li će motor ostati u stabilnom radu ako se moment opterećenja kratkotrajno poveća na 200% ? Smatrati da je trajanje prelazne pojave znatno kraće od tranzijentne vremenske konstante.

43. Trofazni asinhroni motor za 230 V , 50 Hz , sprege zvezda, koristi se kao jednofazni sinhroni generator napona 230 V . Potrošač \underline{Z} se napaja sa priključnih krajeva B i C , kao na slici. Jednosmerni napon se dovodi na rotor preko faze c , koja je povezana na red sa paralelnom vezom namotaja a i b . Odnos broja navojaka po fazi statora i rotora je $\frac{N_S}{N_R} = 1$. Reaktanse rasipanja statora i rotora su $2\ \Omega/\text{fazi}$; reaktansa magnećenja je $15\ \Omega/\text{fazi}$. Vrednosti reaktansi date su za nominalnu učestanost. Svi podaci odnose se na asinhroni motor. Sve vrednosti parametara već su svedene na stranu statora. Aktivne otpornosti namotaja mogu se zanemariti.



44. Trofazni sinhroni generator sprege zvezda, $S_n = 7.5\text{ kVA}$, $U_n = 380\text{ V}$, radi u praznom hodu sa nominalnim naponom. Generator se koristi za napajanje potrošača otpornosti $10\ \Omega$,

koji je priključen između jednog faznog i neutralnog provodnika. Mašina ima sinhronu reaktansu $x_s = x_d = 0.6$, reaktansu za sistem inverznog redosleda $x_i = 0.25$ i reaktansu za sistem nultog redosleda $x_0 = 0.05$. Sve reaktanse date su u relativnim jedinicama. Otpornosti namotaja mogu se zanemariti.

- a) Pokazati da je unutrašnja reaktansa generatora za jednofazno opterećenje jednaka trećini zbira reaktansi x_s, x_i i x_0 .
 - b) Odrediti efektivnu vrednost napona na opterećenju.
 - c) Izračunati efektivnu vrednost napona po fazi za trofazno uravnoteženo opterećenje od 10Ω po svakoj fazi i uporediti ga sa naponom pri jednofaznom opterećenju iz tačke b).
 - d) Kolike su efektivne vrednosti faznih napona preostala dva fazna namotaja (pri jednofaznom opterećenju)?
45. Za trofazni sinhroni turbogenerator sledećih podataka: $S_n = 50 \text{ MVA}, U_n = 10.5 \text{ kV}, f = 50 \text{ Hz}, \cos \varphi_n = 0.85, x_{ad} = 0.8 \text{ r.j.}, x_{\gamma a} = 0.2 \text{ r.j.}, x_{\gamma p} = 0.3 \text{ r.j.}, x_{\gamma k} = 0.1 \text{ r.j.}$ namotaji spregnuti u zvezdu. Odrediti struje i napone pojedinih faza, u relativnim i apsolutnim jedinicama u slučaju:

- a) trofaznog kratkog spoja;
- b) dvofaznog kratkog spoja.

Pre nastanka kvara generator je bio u praznom hodu, nominalno pobuđen. Aktivne otpornosti pojedinih namotaja se mogu zanemariti.

Napomena:

- x_{ad} – reaktansa reakcije indukta po uzdužnoj osi;
- $x_{\gamma a}$ – reaktansa rasipanja namotaja indukta;
- $x_{\gamma p}$ – reaktansa rasipanja pobudnog namotaja;
- $x_{\gamma k}$ – reaktansa rasipanja kompenzacionog (prigušnog) namotaja.

46. Odrediti struje i napone jednofaznog kratkog spoja trofaznog SG koji ima sledeće podatke: $S_n = 100 \text{ MVA}, U_n = 10.5 \text{ kV}, f = 50 \text{ Hz}, x_d = 0.9 \text{ r.j.}, x_i = 0.39 \text{ r.j.}, x_0 = 0.086 \text{ r.j.}$ sprega zvezda. Aktivna otpornost pojedinih namotaja se zanemaruje. Pre nastanka kratkog spoja generator je bio u praznom hodu, nominalno pobuđen.

47. Na trofaznom SG snage $S_n = 10 \text{ MVA}$, napona $U_n = 10.5 \text{ kV}$, sprega zvezda, izveden je dvofazni kratak spoj između faza B i C , pri čemu su dobijeni sledeći podaci: $I_B = 930 \text{ A}, U_{AC} = 5695 \text{ V}$. Reaktansa nultog redosleda iznosi $x_0 = 0.1 \text{ r.j.}$ Odrediti struje trofaznog i

jednofaznog kratkog spoja ovog generatora, u apsolutnim i relativnim jedinicama. Aktivne otpornosti se zanemaruju. Pre nastanka kratkog spoja, generator je bio u praznom hodu, nominalno pobuđen.

48. Šestopolni reluktantni trofazni motor za 220 V , 60 Hz , ima podužnu i poprečnu reaktansu $X_d = 15\ \Omega$ i $X_q = 3\ \Omega$. Otpornost statora i ostale gubitke zanemariti.

- a) Odrediti maksimalni moment koji motor može da razvije pre ispadanja iz sinhronizma.
- b) Odrediti maksimalni sačinilac snage pri kome motor može da radi, kao i mehaničku snagu koju u tom slučaju razvija.

49. Sinhroni motor ima sinhronu reaktansu $x_s = x_d = 90\%$ i tranzijentnu reaktansu u uzdužnoj osi $x'_d = 35\%$. Motor je sinhronizovan na mrežu nominalnog napona.

- a) Ne menjajući pobudu, postepeno se povećava otporni moment. Odrediti najveću vrednost momenta koju motor može da razvije, a da ne ispadne iz sinhronizma.
- b) Ne menjajući pobudu, nakon sinhronizacije se naglo poveća otporni moment. Kolika je najveća vrednost momenta opterećenja koju motor može podneti, a da pritom ne ispadne iz sinhronizma?

Napomena: Smatrati da je trajanje prelatne pojave znatno kraće od tranzijentne vremenske konstante motora i da je fluks pobudnog namotaja konstantan bar u prvoj periodu mehaničke oscilacije.

- c) Pretpostavimo da se moment opterećenja postepeno povećava do nominalne vrednosti i da je pobudna struja podešena tako da je struja motora u ovom režimu minimalna. Odrediti za koliko se najviše sme naglo povećati moment, a da motor ne ispadne iz sinhronizma.

Napomena: U svim proračunima otpornost statorskog namota, trenje i efekat prigušenja.

50. Sinhroni generator ima prigušni namotaj. Poznate su: reaktansa rasipanja statora $x_\sigma = 0.125$, reaktansa rasipanja rotora $x_{\sigma f} = 0.239$, reaktansa rasipanja ekvivalentnog prigušnog namotaja u uzdužnoj osi $x_{\sigma D} = 0.172$ i reaktansa magnećenja $x_{md} = 0.57$. Sve reaktanse su date u relativnim jedinicama. Odrediti relativne vrednosti subtranzijentne, tranzijentne i sinhronne reaktanse statorskog namotaja u uzdužnoj osi za slučaj trolnog kratkog spoja.

51. Sinhroni generator za 50 Hz sa podacima iz prethodnog zadatka ima otpornost prigušnog namotaja $r_D = 0.0154$ i otpornost pobudnog namotaja $r_f = 0.00058$, u relativnim jedinicama. Odrediti vrednosti vremenskih konstanti T'_{d0} , T'_d i T''_d .

52. Ako se zna da je za generator iz prethodnog zadatka $r_S = 0.006$, odrediti maksimalne vrednosti struje troleznog kratkog spoja ako je generator pre nastanka kratkog spoja radio u praznom hodu sa nominalnim naponom.

REŠENJA ZADATAKA IZ SINHRONIH MAŠINA (OG3SM)

1.

- a) $2p = 76; n = 79 \text{ o/min}$
- b) $2p = 38; n = 79 \text{ o/min}$
- c) $2p = 92; n = 78.26 \text{ o/min.}$

2. $U = 367 \text{ V.}$

3.

- a) $E \cong 266.4 \text{ V;}$
- b) $e_a \cong 377 \cdot \sin 377t \text{ V;}$
 $e_b \cong 377 \cdot \sin(377t - 120^\circ) \text{ V;}$
 $e_c \cong 377 \cdot \sin(377t + 120^\circ) \text{ V;}$
- c) $e_{ab} \cong 652.54 \cdot \sin(377t + 30^\circ) \text{ V;}$
 $e_{bc} \cong 652.54 \cdot \sin(377t - 90^\circ) \text{ V;}$
 $e_{ca} \cong 652.54 \cdot \sin(377t - 210^\circ) \text{ V.}$

4. $E \cong 230.38 \text{ V (po fazi).}$

5. $f = 50 \text{ Hz; } E_f^{eff} = 1534.46 \text{ V; } E_{lin}^{eff} = 2657.76 \text{ V.}$

6.

- a) $E_1 = 100\%; E_3 = 30\%; E_5 = 20\%; \frac{E_{prov}}{E_1} = 1.063;$
- b) $E_1 = 100\%; E_3 = 18.55\%; E_5 = 0\%; \frac{E_{nav}}{E_1} = 1.017;$
- c) $E_1 = 100\%; E_3 = 12.6\%; E_5 = 0\%; \frac{E_{faze}}{E_1} = 1.008;$
- d) $E_1 = 100\%; E_3 = 0\%; E_5 = 0\%; \frac{E_{medufazno}}{E_1} = 1.$

7.

- a) $\frac{\Phi_1}{\Phi_0} = 0.9615; \frac{\Phi_3}{\Phi_0} = 0.1154; \frac{\Phi_5}{\Phi_0} = 0.0769;$
- b) $E_1 = 1; E_3 = 0.17; E_5 = 0; E_f = 1.014; E_l = \sqrt{3} = 1.73.$

8. $\beta = 36^\circ$ ili $\beta = 72^\circ$; Povoljnije je usvojiti rešenje $\beta = 72^\circ$, jer je raspodela tada približnija sinusnoj (manji je udeo viših harmonika u spektralnom sastavu indukcije; može

se preciznije pokazati pomoću faktora THD – Total Harmonic Distortion, ali je u ovom slučaju dovoljno konstatovati ovo približno, na osnovu amplitude osnovnog harmonika, koja je u slučaju kada je ugao $\beta = 72^\circ$ približnija B_m nego u slučaju kada je $\beta = 36^\circ$).

9. $\beta_5 = 18^\circ$; $\beta_7 = 13^\circ$.

10. $B_1 = 1.216 \cdot B_m$; $B_3 = 0.27 \cdot B_m$; $B_5 = 0.049 \cdot B_m$; $B_7 = -0.025 \cdot B_m$.

11. $B_1 = \frac{4}{\pi} \cdot B_m$; $B_3 = \frac{4}{3\pi} \cdot B_m$; $B_5 = \frac{4}{5\pi} \cdot B_m$; $B_7 = \frac{4}{7\pi} \cdot B_m$.

12. $B_1 = \frac{8}{\pi^2} \cdot B_m$; $B_3 = -\frac{8}{9\pi^2} \cdot B_m$; $B_5 = \frac{8}{25\pi^2} \cdot B_m$; $B_7 = -\frac{8}{49\pi^2} \cdot B_m$.

13. $E_{1f} = 2914.45 \text{ V}$; $E_{3f} = 501.40 \text{ V}$; $E_{5f} = 63.08 \text{ V}$; $E_f = 2958 \text{ V}$; $E_{lin} = 5049.16 \text{ V}$.

14. $I_f = 396.7 \text{ A}$; **NAPOMENA:** Prilikom rešavanja zadatka razmatrati osnovne harmonike MPS, odnosno fluksa!

15. $X_s^{(n)} = 28.867 \Omega$; $X_s^{(z)} = 22.854 \Omega$ – vrednosti reaktansi u apsolutnim jedinicama;
 $x_s^{(n)} = 1.0526 \text{ p.u.}$; $x_s^{(z)} = 0.8333 \text{ p.u.}$ – vrednosti reaktansi u relativnim jedinicama;
 $OKS = \frac{x_s^{(n)}}{x_s^{(z)}} = 1.263$ - odnos kratkog spoja.

16.

- a) $E_0 = 2062 \text{ V}$; $\Delta u = 3.08\%$;
- b) $E_0 = 2335 \text{ V}$; $\Delta u = 16.73\%$;
- c) $E_0 = 1684 \text{ V}$; $\Delta u = -15.8\%$.

17.

- a) $\angle(\underline{E}_\delta, \underline{U}) = \alpha = 8.3^\circ$; $X_\gamma = 2.745 \Omega$;
- b) $E_\delta = 3701.5 \text{ V}$ - fazna vrednost.

18.

- a) $FR(ind) = 0.44$; $FR(cap) = -0.2$;
- b) $\cos \varphi = 0.9523(cap)$.

19.

- a) $M_{max} = 123.34 \text{ kNm}$;

b) $M_{max} = 123.34 \text{ kNm}$; $U = 1122.5 \text{ V}$.

20.

a) $I_g = 7216.88 \angle -3.58^\circ \text{ A}$; $E_f = 18924.91 \angle 46.63^\circ \text{ V}$;

b) $I_g = 14433.8 \angle -7.18^\circ \text{ A}$; $E_f = 29262.4 \angle 69.16^\circ \text{ V}$.

21.

a) $I_f = 9.85 \text{ A}$;

b) $P_{max} = 3.47 \text{ kW}$; $\cos \varphi = 0.85$ (cap).

22.

a) 1.376 puta;

b) 0.748 puta.

23. $1.77 \angle 19.4^\circ$.

24.

a) $\delta = 19.96^\circ$; $E_f = 2382.77 \text{ V}$;

b) $P_{max} = 5566 \text{ kW}$; $M_{max} = 175 \text{ kNm}$.

25.

a) Vežbe;

b) $\delta_G = 44.83^\circ$ – ugao između ems i napona generatora;

$\delta_m = 51.18^\circ$ – ugao između ems i napona mreže;

c) $u_G = 1.03 \text{ p.u}$; $e_f = 2.29 \text{ p.u}$.

26. $p_{max} = 0.245 \text{ p.u}$; $i = 1.443 \text{ p.u}$.

27. $i_{fmin} = 0.85 \text{ p.u}$.

28.

a) $\delta = 36.69^\circ$; $\cos \varphi = 0.83$; $p = 0.747 \text{ p.u}$; $q = 0.502 \text{ p.u}$;

b) $\delta = 64.59^\circ$; $\cos \varphi = 0.988$; $p = 0.792 \text{ p.u}$; $q = 0.124 \text{ p.u}$;

NAPOMENA: Kod motora je usvojeno da je ugao snage δ pozitivan kada ems kasni za naponom. Moguće je usvojiti i suprotan smer ugla δ za pozitivan, ali je neophodno napomenuti šta je usvojeno, i voditi računa o tome prilikom rešavanja zadatka;

c) Generator – proizvodi reaktivnu energiju;

Motor – troši reaktivnu energiju;

- d) Generator je dovoljno pobuđen, a motorje potpobuđen. Ovo se pokazuje tako što se odredi pobudna struja (odnosno ems usled pobude) pri zadanom naponu i aktivnom opterećenju, za $\cos \varphi = 1$. Dobijena pobudna struja uporedi se sa zadanom. Ukoliko je zadata pobuda manja od one dobijene za $\cos \varphi = 1$, mašina je potpobuđena. U suprotnom, mašina je nadpobuđena. Ovo je jedan od mogućih pristupa.

29.

- a) $E_f = 306.94 V$; $\delta = 9.355^\circ$; $M_{max} = 2412.5 Nm$;
b) $\cos \varphi \cong 1$; $\delta = 44.42^\circ$; $M_T = 1688.8 Nm$.

30.

$I_f [A]$	542.86	1064.3	1757.14	2414.3
$L_f [mH]$	6.96	6.31	4.70	3.71
$\tau_f [s]$	3.48	3.16	2.35	1.86

31.

- a) $E_0 = 9.30 kV$; $\delta = 11.16^\circ$;
b) $k_{SM} = 782.88 \frac{kNm}{rad}$.

32.

- a) $k_{SP} = 248.29 \frac{MW}{rad}$;
b) $k_{SM} = 15.81 \frac{MNm}{rad}$.

33.

- a) $\cos \varphi = 0.5497$ (*ind*); $Q = 68.5 kVAr$;
b) $E_f = 134.12 V$; $\delta_{el} = -30.71^\circ$; $\delta_{meh} = -15.35^\circ$;
c) $M_{max} = 562 Nm$; $\nu = 1.96$ – u odnosu na zadata opterećenje;
d) $\cos \varphi = 0.596$; $\delta = -7.41^\circ$.

34.

- a) $Q_k = 300 kVAr$;
b) $Q_k = 168.52 kVAr$;
c) $Q_k = 431.5 kVAr$.

35. $P_{meh}^{max} = 264.58 kW$; $E_f = 7128.82 \angle -20.7^\circ V$.

36. $P_{max} = 135.85 \text{ MW}$; $Q_{max} = -75.93 \text{ MVar}$.

37.

a) 4.167 MW ;

b) $\delta = 34.7^\circ$; $i = 117\%$;

c) Kako je struja generatora pod (b) veća za 17% od nominalne struje generatora, trajan rad u ovakvim uslovima nije moguć, jer bi došlo do termičkog preopterećenja statorskog namotaja.

38.

a) $\frac{X_d}{X_q} = 2$;

b) $\frac{M_{max}}{M_{gl}} = 1.136$.

39.

a) $I_1 = 87.48 \angle -41.4^\circ \text{ A}$; $I_2 = 23.2 \angle -19.5^\circ \text{ A}$;

b) $\cos \varphi_1 = 0.75 \text{ (ind)}$; $\cos \varphi_2 = 0.943 \text{ (ind)}$;

c) $E_{f1} = 5432.25 \text{ V}$;

d) $\delta_1 = 16.85^\circ$; $\delta_2 = 11.44^\circ$;

e) Vežbe.

40. $\underline{E}_G = 1366.37 \angle 9.37^\circ \text{ V}$; $\underline{E}_M = 1190 \angle -18.31^\circ \text{ V}$; $\Delta_{meh} \cong 7^\circ$ – mehanički pomeraj.

41.

a) $p_1 = 63.16\%$; $p_2 = 36.84\%$;

b) $(\cos \varphi)_{opt} = 0.826 \text{ (ind)}$;

c) $I_1 = 108.9 \text{ A}$; $I_2 = 63.56 \text{ A}$.

42. Motor će ostati u stabilnom radu, što se može pokazati primenom metode jednakih površina (vežbe, predavanja). Površina „ubrzavanja“ $A_1 = 0.588$ manja je od površine „usporavanja“ $A_2 = 1.893$, što je kriterijum za stabilnost. Ovaj princip ne može biti kompletno objašnjen na ovom mestu, već je detaljno obrađen na časovima predavanja i računskih vežbi.

43.

a) Dokaz je detaljno izveden na časovima računskih vežbi;

b) $I_{DC} = I_f = 28.85 \text{ A}$.

44.

- a) Dokaz je detaljno izveden na časovima predavanja i računskih vežbi;
- b) $U_{opt} = 190 V$;
- c) $U_{opt}^{3f} = 143.6 V$;
- d) $U_B = 177.58 V$; $U_C = 218.11 V$.

45.

- a) $\underline{i}_a = 1 \angle -90^\circ p.u.$; $\underline{I}_a = 2749.3 \angle -90^\circ A$;
 $\underline{i}_b = 1 \angle 150^\circ p.u.$; $\underline{I}_b = 2749.3 \angle 150^\circ A$;
 $\underline{i}_c = 1 \angle 30^\circ p.u.$; $\underline{I}_c = 2749.3 \angle 30^\circ A$;
 $u_a = u_b = u_c = 0$; $U_a = U_b = U_c = 0$;
- b) $\underline{i}_b = -\underline{i}_c = 1.366 \angle 180^\circ p.u.$; $\underline{I}_b = -\underline{I}_c = 3756.4 \angle 180^\circ A$; $I_a = 0$;
 $\underline{u}_a = 0.422 p.u.$; $\underline{U}_a = 2.56 kV$;
 $\underline{u}_b = \underline{u}_c = 0.211 \angle 180^\circ p.u.$; $\underline{U}_b = \underline{U}_c = 1.28 \angle 180^\circ kV$.

46. $\underline{I}_a = -j11.99 kA$; $\underline{U}_b = 3.35 \angle -100^\circ kV$; $\underline{U}_c = 3.35 \angle 100^\circ kV$; $\underline{U}_a = \underline{I}_b = \underline{I}_c = 0$.

47. 3fks: $i_{3pks} = 1.42 p.u.$; $I_{3pks} = 781 A$;
1fks: $i_{1pks} = 2.67 p.u.$; $I_{1pks} = 1468 A$;

48.

- a) $M_{max} = 51.35 Nm$;
- b) $(\cos \varphi)_{max} = 0.667$; $P_{meh}^{max} = 4.81 kW$.

49.

- a) $M_{max} = 1.11 p.u.$;
- b) $M_{max1}^{naglo} = 2.17 p.u.$;
- c) $M_{max2}^{naglo} = 1.482 p.u.$

50. $x_d'' = 0.21 (21\%)$; $x_d' = 0.293 (29.3\%)$; $x_d = x_s = 0.695 (69.5\%)$.

51. $T_{d0}' = 3.816 s$; $T_d' = 0.0504 s$; $T_d = 1.875 s$.

52. $I_{max} = 12.84 p.u.$

NAPOMENA: Prilikom određivanja maksimalne struje, potrebno je najpre napisati izraz za vremenski oblik struje kratkog spoja, a zatim odrediti maksimalnu struju za kritičan slučaj.