

# ELEKTRIČNE MAŠINE

## Računske vežbe

### DRUGI DEO

Tekst sadrži 9 zadataka koji će se rešavati na časovima računskih vežbi u toku druge polovine kursa. Prvih 5 zadataka se odnosi na asinhronu mašine. Preostala 4 zadatka se odnose na sinhronu mašine.

kontakt: [masine.etf.rs](mailto:masine.etf.rs), [ddc@etf.rs](mailto:ddc@etf.rs), [vukosavic.etf.rs](mailto:vukosavic.etf.rs)

#### 1. zadatak

Trofazna mašina nazimenične struje poseduje namotaj sa  $N=100$  navojaka po fazi, pri čemu su faze prostorno pomerene za 120 stepeni. Tri faze namotaja su vezane u zvezdu. Efektivna vrednost nominalnog faznog napona iznosi  $U_n=230$  V, efektivna vrednost nominalne struje jedne faze  $I_n=10$  A, dok je nominalna frekvencija statorskog napona  $f_{s,n}=50$  Hz. Trofazna mašina je pretvorena u dvofaznu tako što je statorski namotaj sa tri faze uklonjen, a u iste statorske žlebove je ugrađen namotaj sa dve faze  $\alpha$  i  $\beta$ . Faze  $\alpha$  i  $\beta$  dvofazne mašine prostorno pomerene za 90 stepeni poseduju  $N_\alpha = N_\beta = 100$  navojaka. Materijal i poprečni presek provodnika statorskog namotaja je isti kao kod prvobitne trofazne mašine. Faze dvofaznog namotaja se sada napajaju iz dva nezavisna naponska izvora istih amplituda napona i iste frekvencije, fazno pomerena za  $\pi/2$ . Premotana mašina se posmatra u trajnom radu gde pogoni nominalno opterećenje, nominalnom brzinom, uz nominalni fluks  $\Phi$  u zazoru mašine.

- Skicirati šemu veza opisane dvofazne mašine sa naponskim izvorima koja koristi minimalan broj provodnika.
- Odrediti efektivnu vrednost napona,  $E_{\alpha,rms}=E_{\beta,rms}$ , frekvenciju,  $f_s$ , i efektivnu vrednost struje,  $I_{\alpha\beta,rms}$ , izvora koja se ima u opisanom radnom režimu.

#### 2. zadatak

Trofazni dvopolni asinhroni motor povezan u zvezdu, načinjen za fazni napon nominalne efektivne vrednosti  $U_n=220$  V, nominalne frekvencije  $f_{s,n}=50$  Hz, ima parametre:

- otpornost statorskog namotaja (jedne faze)  $R_S=0.25 \Omega$ ,
- svedena otpornost rotorskog namotaja (jedne faze)  $R_R=0.2 \Omega$ ,
- rasipna induktivnost statorskog namotaja (jedne faze)  $L_{\gamma S}=3$  mH,
- svedena rasipna induktivnost rotorskog namotaja (jedne faze)  $L_{\gamma R}=3$  mH,
- induktivnost magnetizacije  $L_m=100$  mH.

Faze statorskog namotaja su povezane u zvezdu. Gubici u gvožđu i mehaničkom podsistemu ovog motora se mogu zanemariti. Za radni režim u kome je motor napajan naponom nominalne frekvencije,  $f_s = f_{s,n}$ , efektivne vrednosti faznog napona koja je jednaka nominalnom, ( $U_s = U_n$ ), pri čemu se rotor obrće brzinom od  $n_m = 2850$  ob/min, izračunati:

Vrednost relativnog klizanja,  $s$ .

- Razliku brzine obrtnog polja i brzine rotora (brzinu klizanja, u oznaci  $\Omega_k$ ) i kružnu učestanost struje u kratkospojenom rotorskom namotaju (u oznaci  $\omega_k$ ).
- Struju statora,  $I_s$ , i struju rotora,  $I_R$ .
- Fluks statora,  $\underline{\Psi}_s$ , fluks rotora,  $\underline{\Psi}_R$  i fluks magnetizacije,  $\underline{\Psi}_m$ , a zatim ih uporediti po amplitudi i fazi.
- Elektromagnetski moment,  $M_{em}$ .

### **3. zadatak**

Trofazni dvopolni asinhroni motor načinjen, za nominalni fazni napon efektivne vrednosti  $U_n = 220$  V, nominalne frekvencije  $f_{s,n} = 50$  Hz, ima parametre:

- otpornost statorskog namotaja (jedne faze)  $R_s = 13.44 \Omega$ ,
- svedena otpornost rotorskog namotaja (jedne faze)  $R_R = 12.55 \Omega$ ,
- rasipna induktivnost statorskog namotaja (jedne faze)  $L_{\gamma S} = 41.8$  mH,
- svedena rasipna induktivnost rotorskog namotaja (jedne faze)  $L_{\gamma R} = 24$  mH,
- induktivnost magnetizacije  $L_m = 1.1085$  H.

Ako su faze statora povezane u zvezdu, a motor je nominalno napajan ( $f_s = f_{s,n}$ ,  $U_s = U_n$ ), izračunati:

- Polazni moment  $M_{pol}$ , uz pretpostavku da je  $L_m$  tako veliko da se struja magnetizacije može zanemariti.
- Prevalni moment u motornom režimu rada,  $M_{pr,m}$ . U svim proračunima u ovoj tački smatrati da  $L_m \rightarrow \infty$ , kao i da je  $R_s = 0$ .

### **4. zadatak**

Trofazni dvopolni asinhroni motor definisan u 3. zadatku ima nominalnu brzinu obrtanja  $n_n = 2580$  ob/min. Izuzev snage gubitaka u statorskom i rotorskom namotaju motora, sva ostala snaga gubitaka se može zanemariti. Faze statorskog namotaja motora su povezane u zvezdu. U izračunavanjima je opravdano zanemariti struju magnetizacije.

- Odrediti nominalnu vrednost snage gubitaka,  $P_{\gamma,n}$ .
- Ako je motor je nominalno napajan, za režim polaska, izračunati:
  - Snagu obrtnog polja,  $P_{ob}(s=1)$ .
  - Snagu gubitaka u rotorskom namotaju,  $P_{cu}^{rot}(s=1)$ .
  - Snagu gubitaka u celoj mašini,  $P_{\gamma}(s=1)$ .

## **5. zadatak**

Trofazni dvopolni ( $p=1$ ) asinhroni motor poseduje statorski namotaj čije su faze spregnute u zvezdu (Y). Nominalna efektivna vrednost linijskog napona je  $U_{l,n} = 220\sqrt{3}$  V. Nominalna frekvencija napajanja je  $f_{s,n}=50$  Hz. Nominalna efektivna vrednost struje motora je  $I_n = 16$  A, nominalna brzina obrtanja rotora je  $n_n = 2850$  o/min. Nominalna efektivna vrednost struje praznog hoda (t.j. struje koja se ima pri nominalnom naponu, nominalnoj frekvenciji, u uslovima kada je klizanje jednako nuli) iznosi  $I_0 = 8$  A dok je nominalna efektivna vrednost polazne struje (t.j. struje koja postoji u namotajima pri nominalnom napajanju i zakočenom rotoru, tj. kada je brzina obrtanja jednaka nuli a klizanje jednako jedan)  $I_{pol} = 80$  A. U proračunima se otpornost statorskog namotaja  $R_S$  može zanemariti, rasipne induktivnosti statora i rotora se mogu smatrati jednakim ( $L_{\gamma S} = L_{\gamma R}$ ) i znatno manjim od međusobne induktivnosti ( $L_{\gamma S} \ll L_m, L_{\gamma R} \ll L_m$ ).

- a) Nacrtati ekvivalentnu šemu za stacionarna stanja i odrediti sve njene parametre (osim  $R_S$ ). Pri izračunavanjima je opravdano usvojiti da je nominalna vrednost struje u grani magnetizacije mnogo manja od nominalne struje ( $I_{m,n} \ll I_n$ ), kao i da je struja magnetizacije pri polasku mnogo manja od polazne struje ( $I_m(s=1) \ll I_{pol}$ ).
- b) Nacrtati prirodnu karakteristiku u  $M-\Omega$  ravni i odrediti koordinate (t.j. parove  $M, \Omega$ ) karakterističnih tačaka (polazak, prevalni moment u motornom radu, nominalni režim rada, prevalni moment u režimu kočenja). Pri izračunavanju ovih vrednosti, zanemariti struju u grani magnetizacije.
- c) Odrediti faktor snage ( $\cos(\varphi_n)$ ) i stepen korisnog dejstva,  $\eta_n$ , u režimu nominalnog napajanja i opterećenja, oslanjajući se pri tome na zamensku šemu dobijenu u tački a) zanemarujući snagu gubitaka koja se u ovoj šemi ne modeluje.
- d) Odrediti frekvencije rotorskih struja za karakteristične tačke analizirane u b).
- e) Usvajajući tipičan sistem baznih veličina, odrediti relativne (svedene) vrednosti svih parametara mašine.

## **6. zadatak**

Dvopolni sinhroni motor sa konstantnom rotorskom pobudom poseduje statorski namotaj zanemarivo male otpornosti, ( $R_S=0$ ), čije su faze vezane u zvezdu. Sinhronne induktivnosti u d i q osi su međusobno jednake,  $L_d = L_q = L_S = 0.1$  H. Poznata je efektivna vrednost faznog napona statora  $U_S = 220$  V i frekvencija  $f_S=50$  Hz, kao i efektivna vrednost elektromotorne sile praznog hoda  $E_0 = 290$  V izmerena u jednoj

fazi. Ukoliko mašina radi sa uglom snage od  $\delta=+30^\circ$  (napon statora prednjači u odnosu na  $E_0$ ), izračunati:

- Efektivnu vrednost statorske struje,  $I_s$ .
- Faktor ulazne snage,  $\cos\varphi$ .
- Aktivnu,  $P_e$  i reaktivnu,  $Q_e$  snagu mašine.

## **7. zadatak**

Dvopolni sinhroni generator sa konstantnom rotorskom pobudom poseduje statorski namotaj zanemarivo male otpornosti, ( $R_s=0$ ), čije su faze vezane u zvezdu. Sinhronne reaktanse u  $d$  i  $q$  osi su međusobno jednake,  $X_d = X_q = X_s$ . Poznata je efektivna vrednost faznog napona  $U_s = 3470$  V i efektivna vrednost elektromotorne sile praznog hoda u jednoj fazi  $E_0 = 4200$  V. Ako se zna da je u posmatranom režimu efektivna vrednost statorske struje  $I_s=500$  A, dok je faktor snage  $\cos\varphi = 0.8$ , ind., izračunati:

- Vrednost sinhronne reaktanse,  $X_s$ ,
- Vrednost ugla snage,  $\delta$ .

## **8. zadatak**

Dvopolna trofazna sinhrona mašina poseduje namotani rotor sa kliznim prstenovima i pobudnim namotajem u  $d$  osi. Rotor se obrće brzinom  $n_m=4500$  ob/min. Statorski namotaj je povezan u zvezdu i u svakoj od njegovih faza se indukuje elektromotorna sila čija vršna vrednost iznosi  $E_{0,\max} = 800$  V pri pobudnoj struji od jednog ampera ( $I_{p,0}=1$  A). Poznato je da je magnetsko kolo linearno kao i da je  $L_d=L_q=50$  mH, dok je otpornost statorskog namotaja svake faze  $R_s=3 \Omega$ . U rotorskom namotaju se u posmatranim radnim režimima ima nepromenljiva pobudna struja  $I_{p,1}=0.5$  A.

- Odrediti frekvenciju  $f_s$  [Hz] koju simetrični trofazni naponski izvor treba da ima da bi se mašina na njega mogla sinhronizovati.
- Odrediti efektivnu vrednost statorske struje,  $I_{KS}$ , i elektromagnetski moment,  $M_{KS}$ , koji se opire kretanju rotora mašine za slučaj u kome je  $U_s=0$  (t.j. statorski priključci u kratkom spoju). Napomena: Posmatra se sinhrona mašina koja radi u ustaljenom stanju, dakle, radi se o ustaljenoj vrednosti struje kratkog spoja.
- U slučaju kada je efektivna vrednost linijskog napona izvora kojim se napaja statorski namotaj jednaka  $U_l=300$  V, odrediti ugao snage  $\delta$  [rad] (ugao za koji vektor statorskog napona prednjači u odnosu na indukovanu elektromotornu silu) za koji se ima najveća snaga elektomehaničkog pretvaranja dok mašina radi u generatorskom režimu. Za ovaj ugao, odrediti:
  - Efektivnu vrednost statorske struje,  $I_s$ .
  - Reaktivnu snagu,  $Q_e$ , koju sinhrona mašina predaje izvoru.
  - Aktivnu snagu,  $P_e$ , koju sinhrona mašina predaje izvoru.

## 9. zadatak

Dvopolni trofazni sinhroni generator poseduje statorski namotaj zanemarivo male otpornosti, ( $R_S=0$ ), čije su faze vezane u zvezdu. Sinhronne reaktanse u d i q osi su međusobno jednake,  $X_d = X_q = X_S = 2 \Omega$ . Merenjem je utvrđeno da se karakteristika praznog hoda može aproksimirati pravom sve dok efektivna vrednost elektromotorne sile praznog hoda u fazi ne dostigne vrednost od  $E_{0,\max}=500 \text{ V}$ , nakon čega nastupa zasićenje. Izlazni napon na statorskim priključcima se u radnim režimima, opisanim u daljem tekstu, nastoji održati konstantnim pri čemu efektivna vrednost faznog napona treba da iznosi  $U_S=220 \text{ V}$ . Brzina obrtanja rotora je konstantna u svim radnim režimima, usled čega se promena elektromotorne sile praznog hoda postiže isključivo promenom pobudne struje rotorskog namotaja.

- Odrediti trofazno otporno opterećenja povezano u zvezdu, sa tri otpornika otpornosti  $R_{\text{opt}}$ , kao i vrednost elektromotorne sile praznog hoda, koja će rezultovati razvijanjem maksimalne moguće snage na otpornicima, kao i efektivnom vrednošću faznog napona od  $U_S=220 \text{ V}$ . Odrediti vrednost te snage,  $P_{\max}$ .
- Ako se paralelno sa trofaznim otpornim opterećenjem poveže i trofazno kapacitivno opterećenje  $C_{\text{opt}}$ , reaktanse  $X_{\text{opt}}=-4 \Omega$ , odrediti pri kom trofaznom otpornom opterećenju,  $R_{\text{opt}}$  i kojoj vrednosti elektromotorne sile praznog hoda,  $E_0$ , se ostvaruje maksimalna aktivna snaga,  $P_{\max}$ , ako je i sada cilj održati nepromenjenu efektivnu vrednost faznog napona  $U_S=220 \text{ V}$ . Kolika je vrednost maksimalne snage  $P_{\max}$ .

