



SVEUČILIŠTE U ZAGREBU
F A K U L T E T
ELEKTROTEHNIKE
I RAČUNARSTVA
Z A V O D Z A
ELEKTROSTROJARSTVO
I AUTOMATIZACIJU

UPRAVLJANJE ELEKTROMOTORNIM POGONIMA

Zadaci za vježbu:

UPRAVLJANJE ASINKRONIM STROJEVIMA

Autori:

Prof.dr.sc. **Fetah Kolonić**

Doc.dr.sc. **Damir Sumina**

Martina Kutija, dipl. ing.

Zagreb, studeni 2011.

Zadatak 1.

Asinkroni kavezni i istosmjerni nezavisno uzbuđeni stroj spojeni su na istu osovinu. Nazivni podaci asinkronog stroja su: $P_n = 15 \text{ kW}$, $f_n = 50 \text{ Hz}$, $U_n = 380 \text{ V}$, $n_n = 1460 \text{ min}^{-1}$, $I_n = 30 \text{ A}$. Nazivni podaci istosmjernog stroja su: $P_n = 13,5 \text{ kW}$, $I_n = 74 \text{ A}$, $U_n = 220 \text{ V}$, $n_n = 1450 \text{ min}^{-1}$, $R_a = 0,2\Omega$. Odrediti brzinu kojom strojevi podižu teret potencijalnog karaktera $M_t = 150 \text{ Nm}$ te postotnu opterećenost pojedinog stroja u odnosu na deklariranu nazivnu snagu. Motori su napajani nazivnim naponom.

Rješenje:

Istosmjerni stroj:

$$\omega_{n,IM} = \frac{n_{n,IM} \cdot \pi}{30} = \frac{1450 \cdot \pi}{30} = 151,84 \text{ rad/s}$$

$$c_e = \frac{U_n - I_n \cdot R_a}{\omega_n} = \frac{220 - 74 \cdot 0,2}{151,84} = 1,35$$

Asinkroni stroj:

$$\omega_{n,AM} = \frac{n_{n,AM} \cdot \pi}{30} = \frac{1460 \cdot \pi}{30} = 152,89 \text{ rad/s}$$

$$M_{n,AM} = \frac{P_{n,AM}}{\omega_n} = \frac{15000}{152,89} = 98,1 \text{ Nm}$$

$$s_n = \frac{n_s - n_n}{n_s} = \frac{1500 - 1460}{1500} = 0,0253 = 2,53\%$$

$$\omega_s = \frac{1500 \cdot \pi}{30} = 157,07 \text{ rad/s}$$

Proračun:

$$\frac{M_{n,AM}}{M_{t,AM}} = \frac{s_n}{s} \Rightarrow s = \frac{s_n \cdot M_{t,AM}}{M_{n,AM}} \Rightarrow \frac{\omega_s - \omega}{\omega_s} = \frac{s_n \cdot M_{t,AM}}{M_{n,AM}}$$

$$\omega = \omega_s - \frac{\omega_s \cdot s_n \cdot M_{t,AM}}{M_{n,AM}}$$

$$M_{t,IM} = I_{IM} \cdot c_e \Rightarrow I_{IM} = \frac{M_{t,IM}}{c_e}$$

$$\omega = \frac{U_n - I_{IM} \cdot R_a}{c_e} = \frac{U_n \cdot c_e - M_{t,IM} \cdot R_a}{c_e^2}$$

$$M_t = M_{t,IM} + M_{t,AM} \Rightarrow M_{t,AM} = M_t - M_{t,IM}$$

$$\frac{U_n \cdot c_e - M_{t,IM} \cdot R_a}{c_e^2} = \omega_s - \frac{\omega_s \cdot s_n \cdot M_{t,AM}}{M_{n,AM}}$$

$$\frac{U_n \cdot c_e - M_{t,IM} \cdot R_a}{c_e^2} = \omega_s - \frac{\omega_s \cdot s_n \cdot (M_t - M_{t,IM})}{M_{n,AM}}$$

$$M_{t,IM} = \frac{U_n \cdot c_e \cdot M_{n,AM} + \omega_s \cdot s_n \cdot c_e^2 \cdot M_t - \omega_s \cdot c_e^2 \cdot M_{n,AM}}{\omega_s \cdot s_n \cdot c_e^2 + M_{n,AM} \cdot R_a} = 79,7 \text{ Nm}$$

$$M_{t,AM} = M_t - M_{t,IM} = 150 - 79,7 = 70,3 \text{ Nm}$$

$$\omega = \frac{U_n \cdot c_e - M_{t,IM} \cdot R_a}{c_e^2} = \frac{220 \cdot 1,35 - 79,7 \cdot 0,2}{1,35^2} \approx 154,2 \text{ rad/s} \Rightarrow n \approx 1473 \text{ o/min}$$

$$\frac{P_{t,IM}}{P_{n,IM}} = \frac{M_{t,IM} \cdot \omega}{P_{n,IM}} = \frac{79,7 \cdot 154,2}{13500} = 0,91 = 91\%$$

$$\frac{P_{t,AM}}{P_{n,AM}} = \frac{M_{t,AM} \cdot \omega}{P_{n,AM}} = \frac{70,3 \cdot 154,2}{15000} = 0,723 = 72,3\%$$

Zadatak 2.

Asinkroni stroj skalarno upravljan u otvorenoj petlji ima sljedeće nazivne podatke: $P_n = 3 \text{ kW}$, $f_n = 50 \text{ Hz}$, $U_n = 380 \text{ V}$, $n_n = 1420 \text{ min}^{-1}$, $I_n = 6,7 \text{ A}$, $\cos\varphi = 0,83$, $I_k / I_n = 5,4$, $M_{pr} / M_n = 2,7$, namot u spoju zvijezda.

- Odrediti brzinu vrtnje stroja ako se uz nazivnu frekvenciju napajanja optereti teretom potencijalnog karaktera $M_t = 22 \text{ Nm}$.
- Odrediti brzinu vrtnje stroja u slučaju da se frekvencija napona napajanja smanji na $f_1 = 35 \text{ Hz}$.
- Odrediti brzinu vrtnje stroja u slučaju da se frekvencija napona napajanja poveća na $f_2 = 65 \text{ Hz}$.
- Za koliko će se promijeniti brzina vrtnje izračunata u slučaju a) ako se moment tereta poveća za 20 %? Za koliko bi se promijenila brzina vrtnje u slučaju skalarnog upravljanja asinkronog stroja u zatvorenoj petlji? Regulator brzine vrtnje je PI regulator.
- Za koliko će se promijeniti brzina vrtnje izračunata u slučaju a) ako se napon napajanja motora smanji za 10 %? Za koliko bi se promijenila brzina vrtnje u slučaju skalarnog upravljanja asinkronog stroja u zatvorenoj petlji (regulator brzine vrtnje je PI regulator).
- Nacrtati momentne karakteristike asinkronog stroja za slučaj a), b) i c). Na karakteristikama je potrebno ucrtať i karakteristiku tereta te radne točke.

Napomena: Zanimaruje se pad napona na otporu namota statora (nema kompenzacije pada napona na otporu namota statora).

Rješenje:

$$\omega_{n,AM} = \frac{n_{n,AM} \cdot \pi}{30} = \frac{1420 \cdot \pi}{30} = 148,7 \text{ rad/s}$$

$$M_{n,AM} = \frac{P_{n,AM}}{\omega_n} = \frac{3000}{148,7} = 20,175 \text{ Nm}$$

$$\omega_s = \frac{1500 \cdot \pi}{30} = 157,07 \text{ rad/s}$$

$$s_n = \frac{n_s - n_n}{n_s} = \frac{1500 - 1420}{1500} = 0,0533 = 5,33\%$$

$$M_{pm} = 2,7 \cdot M_n = 3 \cdot 20,175 = 60,53 \text{ Nm}$$

a)

$$\frac{M_n}{M_t} = \frac{s_n}{s} \Rightarrow s = \frac{s_n \cdot M_t}{M_n} = \frac{0,0533 \cdot 22}{20,175} = 0,058$$

$$\omega = \omega_s \cdot (1 - s) = 157,07 \cdot (1 - 0,058) = 147,96 \text{ rad/s} \Rightarrow n = 1413 \text{ min}^{-1}$$

b)

$$n_{s1} = \frac{60 \cdot f_1}{p} = \frac{60 \cdot 35}{2} = 1050 \text{ min}^{-1}$$

$$n_s - n = n_{s1} - n_1 = 1500 - 1413 = 87 \text{ min}^{-1} \Rightarrow n_1 = 1050 - 87 = 963 \text{ min}^{-1}$$

(zadatak je moguće riješiti i preko Klossove jednačbe)

c)

Najprije je potrebno izračunati prekretno klizanje pri nazivnoj frekvenciji:

$$\frac{M_n}{M_{pm}} = \frac{2}{\frac{s_n}{s_{pm}} + \frac{s_{pm}}{s_n}}, \quad x = \frac{s_n}{s_{pm}} \rightarrow 1 = \frac{2 \cdot \frac{M_{pm}}{M_n}}{x + \frac{1}{x}}$$

$$x^2 - 2 \cdot \frac{M_{pm}}{M_n} + 1 = 0 \rightarrow x = \frac{M_{pm}}{M_n} - \sqrt{\left(\frac{M_{pm}}{M_n}\right)^2 - 1} = 2,7 - \sqrt{2,7^2 - 1} = 0,192$$

$$s_{pm} = \frac{s_n}{x} = \frac{0,053}{0,192} = 0,276$$

Zatim se računa prekretni moment i prekretno klizanje pri $f = 65 \text{ Hz}$:

$$M_{pr} = M_{pm} \cdot \left(\frac{\frac{U_n}{f_2}}{\frac{U_n}{f_n}}\right)^2 = M_{pm} \cdot \left(\frac{f_n}{f_2}\right)^2 = M_{pm} \cdot \left(\frac{50}{65}\right)^2 = 60,53 \cdot \left(\frac{50}{65}\right)^2 = 35,82 \text{ Nm}$$

$$s_{pr} = s_{pm} \cdot \frac{f_n}{f_2} = 0,276 \cdot \frac{50}{65} = 0,212$$

Iz Klossove jednadžbe dobiva se tražena brzina:

$$\frac{M_t}{M_{pr}} = \frac{2}{\frac{s_t}{s_{pr}} + \frac{s_{pr}}{s_t}} \quad x = \frac{s_t}{s_{pr}} \quad \rightarrow \quad 1 = \frac{2 \cdot \frac{M_{pr}}{M_t}}{x + \frac{1}{x}}$$

$$x = \frac{M_{pr}}{M_t} - \sqrt{\left(\frac{M_{pr}}{M_t}\right)^2 - 1} = 1,628 - \sqrt{1,628^2 - 1} = 0,343$$

$$s_t = 0,343 \cdot s_{pr} = 0,343 \cdot 0,212 = 0,0727$$

$$n = n_s \cdot (1 - s) = \frac{60 \cdot f_2}{p} \cdot (1 - 0,0727) = 1808 \text{ min}^{-1}$$

d)

$$M_{t3} = 1,2 \cdot M_t = 1,2 \cdot 22 = 26,4 \text{ Nm}$$

$$\frac{M_n}{M_{t3}} = \frac{s_n}{s_3} \Rightarrow s_2 = \frac{s_n \cdot M_{t3}}{M_n} = \frac{0,0533 \cdot 26,4}{20,175} = 0,0697$$

$$\omega_3 = \omega_s \cdot (1 - s) = 157,07 \cdot (1 - 0,0697) = 146,12 \text{ rad/s} \Rightarrow 1395 \text{ min}^{-1}$$

U slučaju skalarnog upravljanja u zatvorenoj petlji brzina bi ostala 1413 min^{-1} .

e)

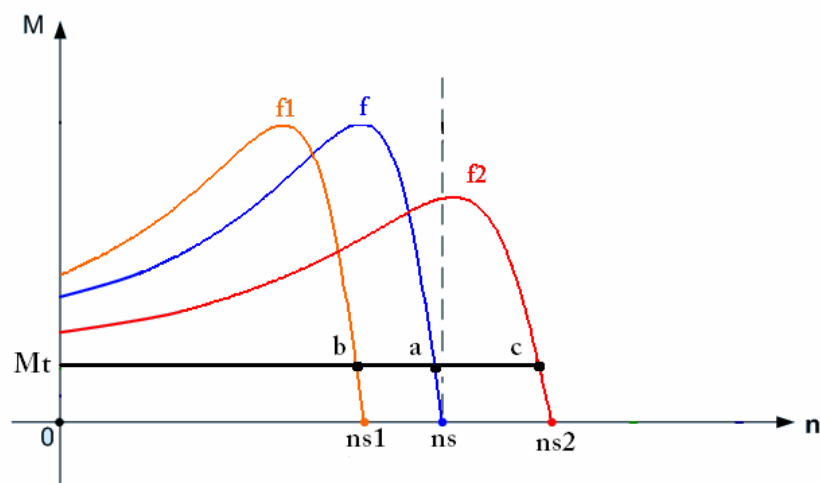
$$\frac{U}{f} = \text{konst.} \Rightarrow f_4 = 0,9 \cdot f = 0,9 \cdot 50 = 45 \text{ Hz}$$

$$n_{s4} = \frac{60 \cdot f_4}{p} = \frac{60 \cdot 45}{2} = 1350 \text{ min}^{-1}$$

$$n_s - n = n_{s4} - n_4 = 87 \text{ min}^{-1} \Rightarrow n_4 = 1350 - 87 = 1263 \text{ min}^{-1}$$

U slučaju skalarnog upravljanja u zatvorenoj petlji brzina se neće promijeniti.

f)



Slika 1. Momentne karakteristike motora i tereta

Zadatak 3.

Asinkroni motor nazivnih podataka: $U_n = 400 \text{ V}$, $P_n = 5 \text{ kW}$, $n_n = 1430 \text{ min}^{-1}$, $f_n = 50 \text{ Hz}$, $M_{pr}/M_n = 3$, namot u spoju zvijezda, skalarno je upravljan U/f metodom u otvorenoj petlji. Motor pokreće centrifugalni ventilator čija je momentna karakteristika dana izrazom $M_t = k \cdot n^2 \text{ Nm}$. Gubici trenja i ventilacije motora se zanemaruju. Pri nazivnoj frekvenciji motor je opterećen nazivnim momentom.

- Odrediti zadanu (referentnu) frekvenciju uz koju bi brzina vrtnje motora bila $n = 1100 \text{ min}^{-1}$. Koliki je moment tereta pri novoj referentnoj frekvenciji?
- Kolika bi bila brzina vrtnje motora upravljanog U/f metodom u zatvorenoj petlji ako bi se zadala referentna brzina koja odgovara frekvenciji izračunatoj u a) dijelu zadatka?
- Smije li motor spojen na navedeni ventilator trajno raditi uz zadanu referentnu frekvenciju $f = 60 \text{ Hz}$? Obrazloži!

Rješenje:

$$\omega_n = \frac{n_n \cdot \pi}{30} = \frac{1430 \cdot \pi}{30} = 149,75 \text{ rad/s}$$

$$M_n = \frac{P_n}{\omega_n} = \frac{5000}{149,75} = 33,39 \text{ Nm}$$

$$s_n = \frac{n_s - n_n}{n_s} = \frac{1500 - 1430}{1500} = 0,04666 = 4,67\%$$

$$M_{prn} = 3 \cdot M_n = 3 \cdot 33,39 = 100,17 \text{ Nm}$$

$$\frac{M_n}{M_{prn}} = \frac{2}{\frac{s_n}{s_{prn}} + \frac{s_{prn}}{s_n}}, \quad x = \frac{s_n}{s_{prn}} \quad \rightarrow \quad 1 = \frac{2 \cdot \frac{M_{prn}}{M_n}}{x + \frac{1}{x}}$$

$$x^2 - 2 \cdot \frac{M_{prn}}{M_n} + 1 = 0 \quad \rightarrow \quad x = \frac{M_{prn}}{M_n} - \sqrt{\left(\frac{M_{prn}}{M_n}\right)^2 - 1} = 3 - \sqrt{3^2 - 1} = 0,1716$$

$$s_{prn} = \frac{s_n}{x} = \frac{0,0467}{0,1716} = 0,272$$

$$M_t = k \cdot n^2 \Rightarrow k = \frac{M_n}{n_n^2} = \frac{33,39}{1430^2} = 1,632 \cdot 10^{-5}$$

a)

$$M'_t = k \cdot n^2 = 1,632 \cdot 10^{-5} \cdot 1100^2 = 19,76 \text{ Nm}$$

$$s_{pr} = s_{prn} \cdot \frac{f_n}{f_2} = 0,272 \cdot \frac{50}{f_2} = \frac{13,5}{f_2}$$

$$\frac{M'_t}{M_{pr}} = \frac{2}{\frac{s'_t}{s_{pr}} + \frac{s_{pr}}{s'_t}}, \quad x = \frac{s'_t}{s_{pr}} \quad \rightarrow \quad 1 = \frac{2 \cdot \frac{M_{pr}}{M'_t}}{x + \frac{1}{x}}$$

$$x = \frac{M_{pr}}{M'_t} - \sqrt{\left(\frac{M_{pr}}{M'_t}\right)^2 - 1} = 5,069 - \sqrt{5,069^2 - 1} = 0,0996 \approx 0,1$$

$$s'_t = 0,1 \cdot s_{pr} = \frac{n_s - n}{n_s}$$

$$0,1 \cdot \frac{13,75}{f_2} = \frac{\frac{60 \cdot f_2}{p} - 1100}{\frac{60 \cdot f_2}{p}} \Rightarrow \frac{60 \cdot f_2}{2} = 40,5 \Rightarrow f_2 = 38,02 \text{ Hz}$$

b)

Brzina motora upravljanog u zatvorenoj petlji bi bila:

$$n = \frac{60 \cdot f_2}{2} = \frac{60 \cdot 38,02}{2} \approx 1141 \text{ min}^{-1}$$

c)

Ne, jer bi moment tereta bio veći od nazivnog momenta pa bi struja motora bila veća od nazivne struje.

Zadatak 4.

Trofazni asinkroni kavezni stroj ima nazivne podatke: $U_n = 380 \text{ V}$, $f_n = 50 \text{ Hz}$, $P_n = 22 \text{ kW}$, $\cos \varphi = 0,8$, $n_n = 1440 \text{ min}^{-1}$, spoj namota u zvijezdu. Stroj je skalarno upravljan iz frekvencijskog pretvarača, a modulacija rada sklopki izmjenjivača je pravokutna (modulacija u 6 koraka, tzv six-step modulacija).

- Ako se pretpostavi da samo osnovni harmonik pridonosi radnoj snazi koju istosmjerni krug preko izmjenjivača predaje stroju, koliki treba biti napon istosmjernog međukruga za nazivnu radnu točku stroja?
- Nacrtajte valne oblike faznih i linijskih napona. Crtati obavezno u mjerilu!
- Koliki je fazni pomak osnovnih harmonika faznog i linijskog napona?

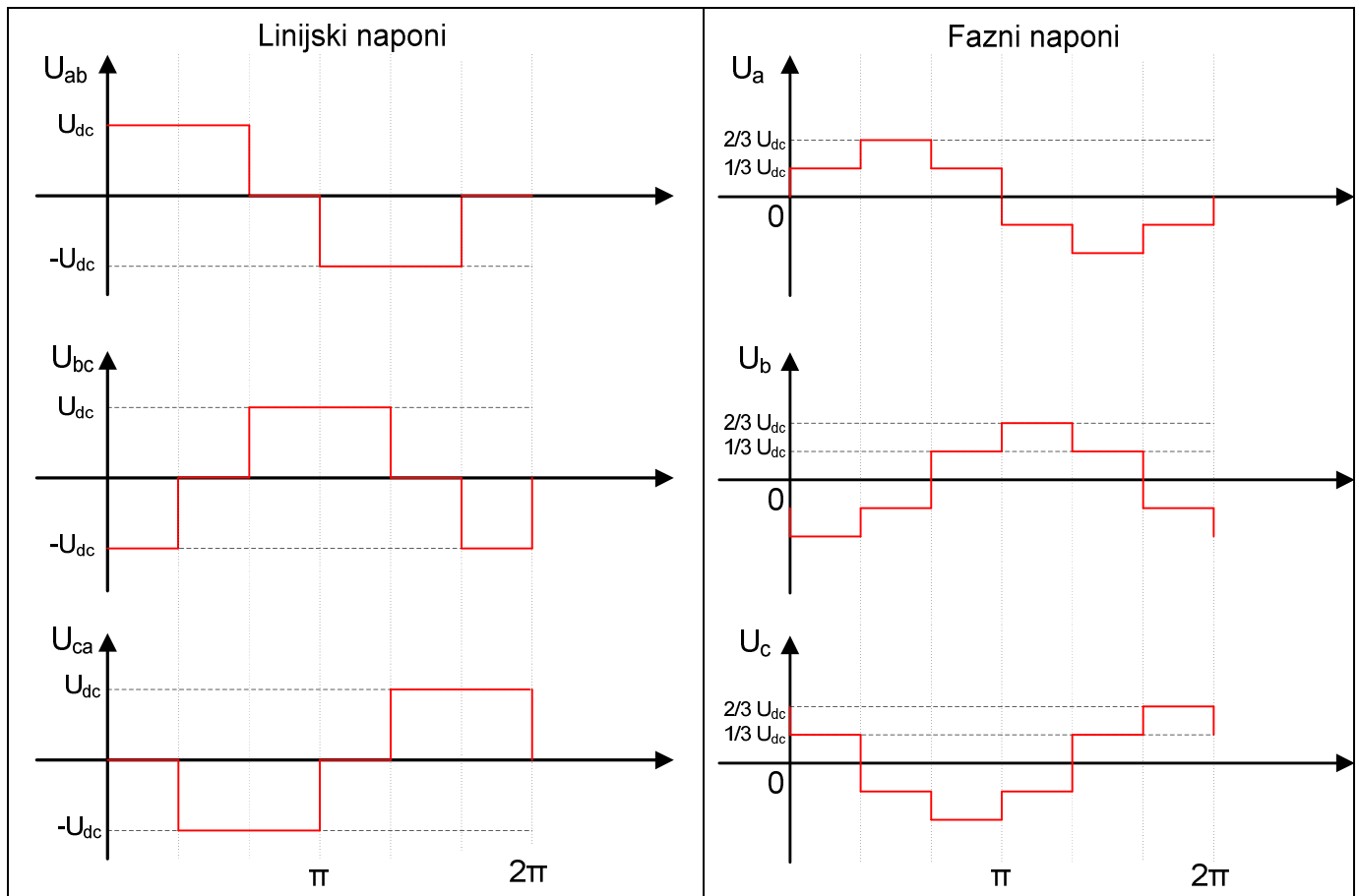
Rješenje:

a)

$$U_{ab} = \frac{\sqrt{3}}{\sqrt{2}} \cdot \frac{4}{\pi} \cdot \frac{U_{dc}}{2} \Rightarrow U_{dc} = \frac{\pi}{\sqrt{6}} \cdot U_{ab}$$

$$U_{dc} = \frac{\pi}{\sqrt{6}} \cdot U_{ab} = \frac{\pi}{\sqrt{6}} \cdot U_n = \frac{\pi}{\sqrt{6}} \cdot 380 \text{ V} = 487,37 \text{ V}$$

b)



Slika 2. Valni oblici faznih i linijskih napona motora

c)

Fazni pomak osnovnih harmonika faznih i linijskih napona je $\pi/6$.**Zadatak 5.**

U trenutku t struje faza statora a , b i c iznose $i_{sa} = 5$ A, $i_{sb} = -10$ A i $i_{sc} = 5$ A. U tom trenutku vektor toka rotora zatvara s osi namota faze a kut $\rho = 30^\circ$. Koliko iznose d i q komponente struje statora?

Rješenje:

$$i_{s\alpha} = i_a = 5 \text{ A}$$

$$i_{s\beta} = \frac{i_b - i_c}{\sqrt{3}} = \frac{-10 - 5}{\sqrt{3}} = \frac{-15}{\sqrt{3}} = -8,66 \text{ A}$$

$$i_{sd} = i_{s\alpha} \cdot \cos \rho + i_{s\beta} \cdot \sin \rho = 5 \cdot \cos 30^\circ - 8,66 \cdot \sin 30^\circ = 0 \text{ A}$$

$$i_{sq} = -i_{s\alpha} \cdot \sin \rho + i_{s\beta} \cdot \cos \rho = -5 \cdot \sin 30^\circ - 8,66 \cdot \cos 30^\circ = -10 \text{ A}$$

Zadatak 6.

Asinkroni stroj se vrti konstantnom brzinom $n = 2910 \text{ min}^{-1}$. U trenutku t rezultirajući vektor struje statora u troosnom abc sustavu iznosi $\vec{i}_s = 15 \angle 120^\circ \text{ A}$. Frekvencija struje statora je 50 Hz, estimirani položaj vektora toka rotora iznosi $\rho = \pi/3$, a trenutni položaj rotora $\varepsilon = \pi/6$.

- Potrebno je odrediti trenutne vrijednosti faznih struja statora, α i β , d i q te k i l komponente vektora struje statora, nacrtati troosni abc , dvoosni (α, β) , (d, q) i (k, l) koordinatni sustav te označiti komponente rezultantne struje u pojedinim sustavima. Koliki je kut rezultirajućeg vektora struje u (d, q) koordinatnom sustavu?
- Kojim brzinama rotiraju koordinatni sustav toka rotora, koordinatni sustav rotora i (α, β) koordinatni sustav?
- Čime su ograničeni maksimalni iznosi d i q komponenti struje statora?

Rješenje:

a)

$$\vec{i}_s = i_{s\alpha} + j \cdot i_{s\beta} = 15 \cdot (\cos(120^\circ) + j \cdot \sin(120^\circ)) = -7,5 + j \cdot 13 \text{ A}$$

$$i_a = i_{s\alpha} = -7,5 \text{ A}$$

$$i_a + i_b + i_c = 0 \Rightarrow i_b = 7,5 - i_c$$

$$i_{s\beta} = \frac{i_b - i_c}{\sqrt{3}} = \frac{7,5 - i_c - i_c}{\sqrt{3}} \Rightarrow i_c = \frac{7,5 - \sqrt{3} \cdot i_{s\beta}}{2} = \frac{7,5 - \sqrt{3} \cdot 13}{2} = -7,5 \text{ A}$$

$$i_b = 7,5 - i_c = 15 \text{ A}$$

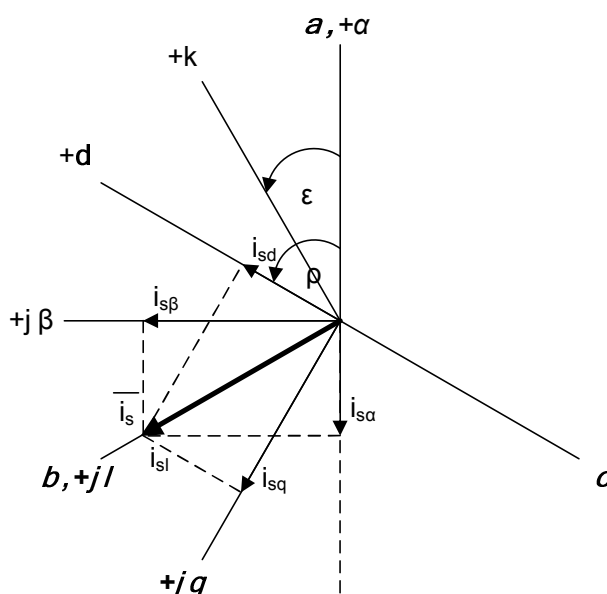
$$i_{sd} = i_{s\alpha} \cdot \cos \rho + i_{s\beta} \cdot \sin \rho = -7,5 \cdot \cos 60^\circ + 13 \cdot \sin 60^\circ = 7,5 \text{ A}$$

$$i_{sq} = -i_{s\alpha} \cdot \sin \rho + i_{s\beta} \cdot \cos \rho = 7,5 \cdot \sin 60^\circ + 13 \cdot \cos 60^\circ = 13 \text{ A}$$

$$i_{sk} = i_{s\alpha} \cdot \cos \varepsilon + i_{s\beta} \cdot \sin \varepsilon = -7,5 \cdot \cos 30^\circ + 13 \cdot \sin 30^\circ = 0 \text{ A}$$

$$i_{sl} = -i_{s\alpha} \cdot \sin \varepsilon + i_{s\beta} \cdot \cos \varepsilon = 7,5 \cdot \sin 30^\circ + 13 \cdot \cos 30^\circ = 15 \text{ A}$$

$$\vartheta = 120^\circ - \rho = 120^\circ - 60^\circ = 60^\circ \quad \text{ILI} \quad \vartheta = \arctg \left(\frac{i_{sq}}{i_{sd}} \right) = \arctg \left(\frac{13}{7,5} \right) = 60^\circ$$



Slika 3. Struja statora u troosnom abc te dvoosnim (α, β) , (d, q) i (k, l) koordinatnim sustavima

b)

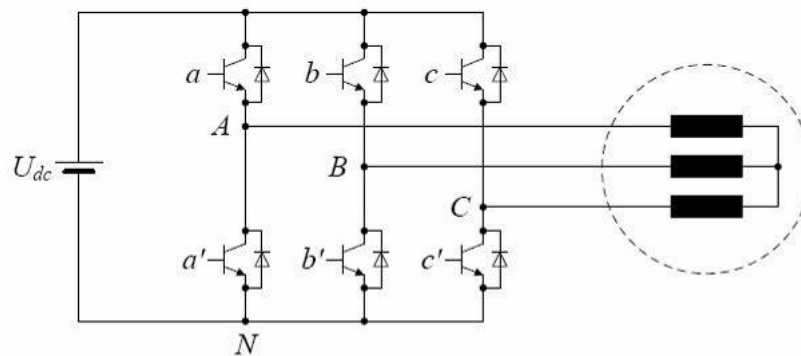
Brzina koordinatnog sustava toka rotora je $n_s = 3000 \text{ min}^{-1}$, brzina (k,l) sustava je $n = 2910 \text{ min}^{-1}$, a brzina (α, β) koordinatnog sustava je $n = 0 \text{ min}^{-1}$ jer je taj sustav mirujući.

c)

Maksimalni iznosi d i q komponenti struja statora ograničene su nazivnom strujom motora, pri čemu uvijek mora vrijediti $i_s = \sqrt{i_{sd}^2 + i_{sq}^2}$

Zadatak 7.

Asinkroni stroj je vektorski upravljan pri čemu se za upravljanje sklopkama pretvarača koristi vektorska modulacija širine impulsa. U trenutku t komponente referentnog vektora napona statora u (α, β) koordinatnom iznose $u_\alpha = 282 \text{ V}$ i $u_\beta = 162 \text{ V}$. Odrediti koliko vremena unutar intervala $T_s = 2 \mu\text{s}$ vodi pojedina sklopka? Skicirati izmjenjivač i na njemu označiti sklopke. Napon istosmjernog međukruga iznosi $U_{dc} = 600 \text{ V}$. Nacrtati valne oblike upravljačkih signala za navedeni slučaj. Koliko smije iznositi maksimalna vrijednost referentnog napona statora da bi se rezultirajući vektor napona statora u svakom trenutku mogao prikazati s dva susjedna aktivna vektora?

Rješenje:**Slika 4.** Izmjenjivač

$$U_{ref} = U_1 \cdot \frac{T_1}{T_s} + U_2 \cdot \frac{T_2}{T_s}$$

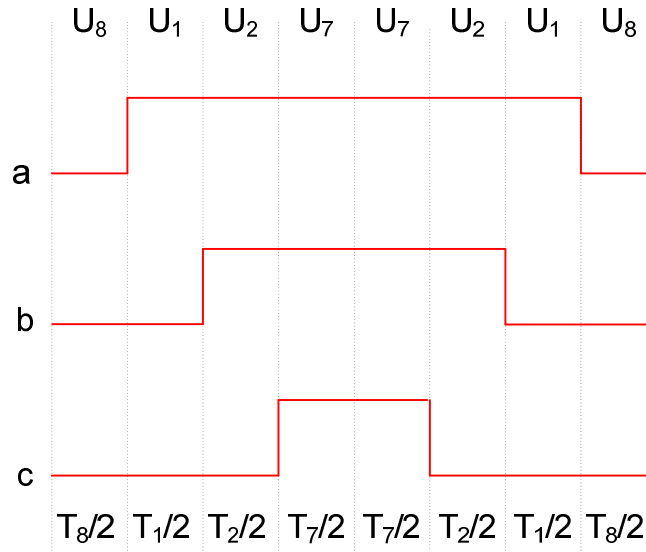
$$T_1 = T_s \cdot \frac{\sqrt{3}}{U_{dc}} \cdot \frac{1}{2} \cdot (\sqrt{3} \cdot U_\alpha - U_\beta) = 2 \cdot \frac{\sqrt{3}}{600} \cdot \frac{1}{2} \cdot (\sqrt{3} \cdot 282 - 162) = 0.942 \mu\text{s}$$

$$T_2 = T_s \cdot \frac{\sqrt{3}}{U_{dc}} \cdot U_\beta = 2 \cdot \frac{\sqrt{3}}{600} \cdot 162 = 0.935 \mu\text{s}$$

$$T_7 + T_8 = T_s - T_1 - T_2 = 2 - 0.942 - 0.935 = 0.123 \mu\text{s}$$

$$T_7 = T_8 = \frac{T_0}{2} = \frac{0.123}{2} = 0.0615 \mu\text{s}$$

$$\operatorname{tg} \alpha = \frac{U_\beta}{U_\alpha} = \frac{162}{282} = 0,5744 \Rightarrow \alpha = 29,87^\circ \Rightarrow III. \text{ sektor}$$



Slika 5. Valni oblici upravljačkih signala sklopki izmjenjivača

$$t_a = T_s - T_8 = 2 - 0,0615 = 1,9385 \mu\text{s}$$

$$t_b = T_2 + T_7 = 0,935 + 0,0615 = 0,9965 \mu\text{s}$$

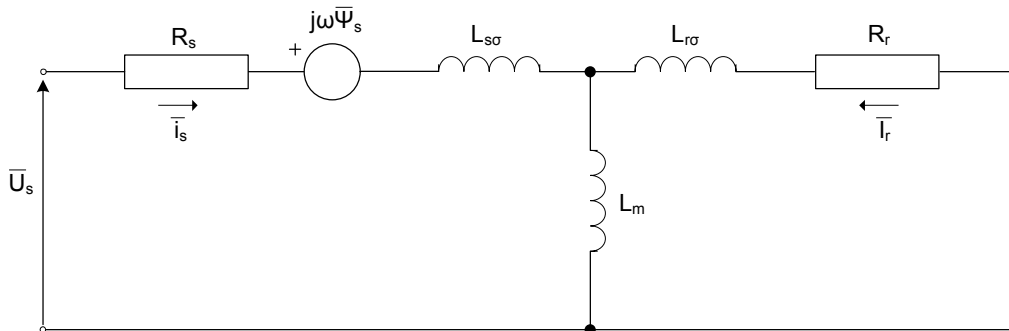
$$t_c = T_7 = 0,0615 \mu\text{s}$$

Da bi se referentni vektor mogao prikazati s dva susjedna aktivna vektora u svakom položaju, maksimalna vrijednost referentnog napona statora mora biti:

$$|U_{ref}|_{\max} = \frac{U_{dc}}{\sqrt{3}} = \frac{600}{\sqrt{3}} = 346,41 \text{ V}$$

Zadatak 8.

Nacrtajte model asinkronog stroja u dvoosnom koordinatnom sustavu koji rotira brzinom rotora.



Slika 6. Model asinkronog stroja u dvoosnom koordinatnom sustavu koji rotira brzinom rotora ω

Zadatak 9.

U stacionarnom stanju ($\omega = \text{konst.}$) d i q komponente struje statora vektorski upravljano asinkronog stroja iznose $i_{sd} = 2 \text{ A}$ i $i_{sq} = 10 \text{ A}$. Parametri stroja su: $R_s = 14,85 \text{ m}\Omega$, $R_r = 9,295 \text{ m}\Omega$, $L_s = 0,3027 \text{ mH}$, $L_r = 0,3027 \text{ mH}$, $L_m = 10,46 \text{ mH}$, $p=2$ i $J= 3,1 \text{ kg m}^2$.

- Koliko iznose d i q komponente vektora toka rotora?
- Ako se moment tereta poveća za 20 %, koliko će u stacionarnom stanju iznositi d i q komponenta vektora struje statora?
- Kako će se promijeniti komponente struje statora, ako je brzina u stacionarnom stanju veća od nazivne (moment tereta ostaje nepromijenjen)?

Rješenje:

$$\frac{d\psi_{rd}}{dt} + \frac{R_r}{L_r} \cdot \psi_{rd} = L_m \cdot \frac{R_r}{L_r} \cdot i_{sd}$$

Budući da se radi o stacionarnom stanju, može se zaključiti da je $\frac{d\psi_{rd}}{dt} = 0$.

$$\psi_{rd} = L_m \cdot i_{sd} = 0,01046 \cdot 2 = 0,02092 \text{ Wb}$$

$$\psi_{rq} = 0 \text{ Wb}$$

$$\text{a) } m_m = m_t = \frac{3}{2} \cdot p \cdot \frac{L_m}{L_r} \cdot i_{sq} \cdot \psi_{rd}$$

U stacionarnom stanju tok se ne mijenja pa je:

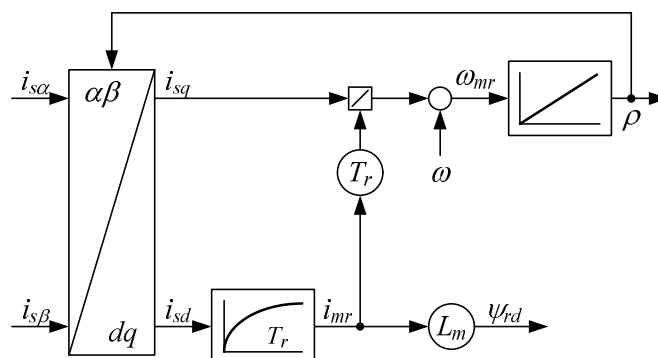
$$i_{sd}' = i_{sd} = 2 \text{ A}$$

$$i_{sq}' = 1,2 \cdot i_{sq} = 1,2 \cdot 10 = 12 \text{ A}$$

- Ako je brzina vrtnje veća od nazivne, d komponenta struje statora će se smanjiti, a q komponenta struje će ostati ista.

Zadatak 10.

Nacrtati strukturnu blok shemu modela za estimaciju položaja i iznosa toka rotora. O kojem parametru asinkronog stroja ovisi preciznost estimacije položaja i vektora toka rotora?

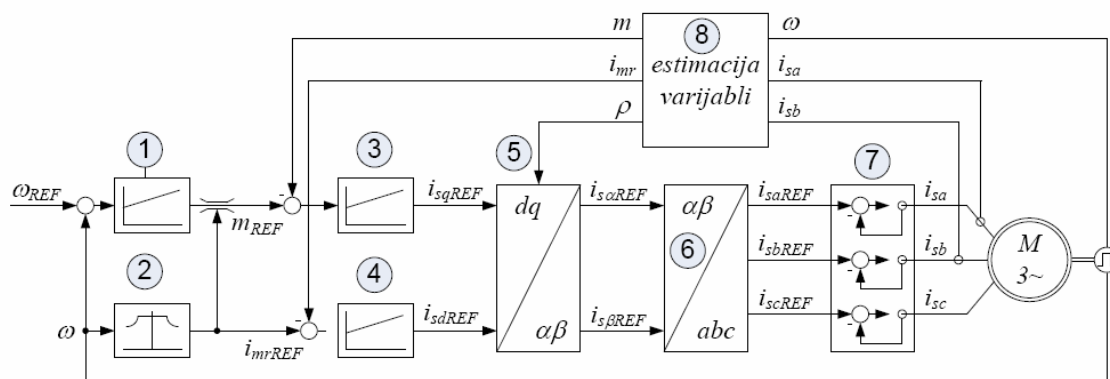


Slika 7. Strukturna blok shema modela za estimaciju položaja i toka rotora

Preciznost estimacije položaja i iznosa vektora toka rotora najviše ovisi o otporu i induktivitetu rotora te o međuinuktivitetu rotora i statora.

Zadatak 11.

Nacrtati funkcijsku blok shemu vektorskog upravljanja asinkronog stroja s pretvaračem frekvencije s utisnutom strujom (moguća i jednostavnija varijanta zadatka s i_{sqREF} i i_{sdREF} kao ulaznim veličinama, umjesto ω_{REF}).



Slika 8. Funkcijska blok shema vektorskog upravljanja asinkronog stroja s pretvaračem frekvencije s utisnutom strujom