

# UPRAVLJANJE ELEKTROMOTORNIM POGONIMA

I. međupot - 19.11.2014.

(12 bodova) Dva istosmjerna nezavisno uzbuđena motora spojena su na zajedničku osovinu. Nazivni podaci motora su:

Motor1:  
nazivna snaga  $P_n = 33 \text{ kW}$   
nazivni napon  $U_n = 440 \text{ V}$   
nazivna struja  $I_n = 83 \text{ A}$   
nazivna brzina vrtnje  $n_n = 1040 \text{ min}^{-1}$   
otpor armature  $R_a = 0,24 \Omega$

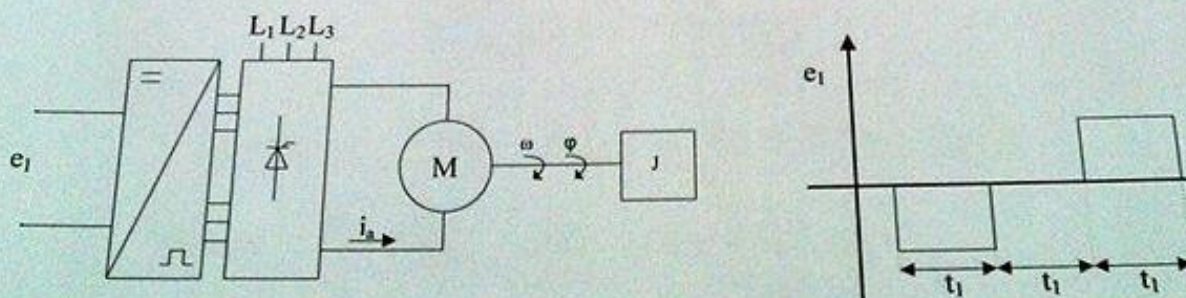
Motor2:  
nazivna snaga  $P_n = 34 \text{ kW}$   
nazivni napon  $U_n = 440 \text{ V}$   
nazivna struja  $I_n = 87 \text{ A}$   
nazivna brzina vrtnje  $n_n = 1060 \text{ min}^{-1}$   
otpor armature  $R_a = 0,3 \Omega$

Motori rade na pogonu za dizanje i spuštanje tereta koje je ostvareno preko reduktora. Moment trenja reduktora je  $M_{tr} = 10 \text{ Nm}$ . Moment tereta je potencijalnog karaktera i iznosi  $M_t = 400 \text{ Nm}$ .

- (5 bodova) Kojom brzinom će motori dizati teret kada se oba motora priključe na nazivni napon? Koliko je opterećenje pojedinog motora (na osovinu) u odnosu na nazivno opterećenje?
- (4 boda) Na koji napon bi se trebao priključiti motor 2 da svaki motor preuzme pola tereta na osovinu?
- (3 boda) Ako se tok motora 2 smanji za 5% u odnosu na nazivni tok, kojom brzinom će motori dizati teret? Da li je dozvoljen trajni rad pogona u ovoj radnoj točki?

**Napomena:** Gubici trenja i ventilacije motora se ne zanemaruju!

(6 bodova) Ulazni napon upravljačkog sustava se mijenja prema referentnom signalu  $e_1$  prikazanom na slici 1. Vrijeme  $t_1$  dovoljno je veliko da se uspostavi stacionarna brzina vrtnje stroja. Kvalitativno skicirati vremenske odzive struje armature  $i_a(t)$ , brzine vrtnje  $\omega(t)$  i kuta zakreta  $\varphi(t)$  neopterećenog motora. Uzbuda motora je konstantna i vrijede pretpostavka da je  $T_a \ll T_m \ll t_1$ .



Slika 1 Upravljački sustav i referentna vrijednost napona

3. (10 bodova) Asinkroni kavezni motor i istosmjerni nezavisno uzbuđeni motor spojeni su na istu osovinu. Asinkroni stroj je napajan iz frekvencijskog pretvarača i skalarno upravljan metodom  $U/f = \text{konst.}$  u otvorenoj petlji, dok se istosmjerni motor napaja iz četverokvadrantnog čopera čiji je ulaz spojen na  $U = 220 \text{ V}$ .

Nazivni podaci asinkronog stroja su:  $P_n = 15 \text{ kW}$ ,  $f_n = 50 \text{ Hz}$ ,  $U_n = 380 \text{ V}$ ,  $\cos \varphi_n = 0,76$ ,  $n_n = 1460 \text{ min}^{-1}$ , a nazivni podaci istosmjernog stroja:  $P_n = 13,5 \text{ kW}$ ,  $I_n = 74 \text{ A}$ ,  $U_n = 220 \text{ V}$ ,  $n_n = 1450 \text{ min}^{-1}$ ,  $R_a = 0,2 \Omega$ . Moment trenja i ventilacije asinkronog stroja se zanemaruje, a moment trenja i ventilacije istosmjernog stroja je konstantan.

a) (3 boda) Odrediti brzinu vrtnje pogona ako je asinkronom stroju zadana referentna frekvencija  $f_1 = 30 \text{ Hz}$ , a istosmjerni stroj je isključen (nije priključen na čoper).

b) (6 bodova) Odrediti brzinu vrtnje pogona ako je asinkronom stroju zadana referentna frekvencija  $f_1 = 30 \text{ Hz}$ , a čoper napaja istosmjerni stroj naponom  $U = -130 \text{ V}$ .

✗ (1 bod) Koliki je faktor vođenja u b) dijelu zadatka uz bipolarnu, a koliki uz unipolarnu modulaciju?

✗ (7 bodova) Asinkroni stroj je vektorski upravljan pri čemu se za upravljanje sklopkama pretvarača koristi vektorska modulacija širine impulsa.  $\alpha$  i  $\beta$  komponente referentnog vektora napona statora u trenutku  $t$  iznose  $u_\alpha = 200 \text{ V}$ ,  $u_\beta = -145 \text{ V}$ . Odrediti trenutne vrijednosti faznih napona statora  $u_a$ ,  $u_b$  i  $u_c$  u tom trenutku. 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. U kojem sektoru se nalazi referentni vektor napona  $U_{ref}$ ?



① MOTOR 1:

$$P_{M1} = 33 \text{ kW}$$

$$U_{M1} = 440 \text{ V}$$

$$I_{M1} = 83 \text{ A}$$

$$n_{M1} = 1040 \text{ min}^{-1}$$

$$R_{a1} = 0.24 \Omega$$

$$\rightarrow M_{M1} = \frac{P_{M1}}{\omega_{M1}} = 303.01 \text{ Nm}$$

$$C_{e1} = \frac{U_{M1} - I_{M1} R_{a1}}{\omega_{M1}} = 3.857 \text{ Nm/A}$$

$$M_{am1, n1} = C_{M1} I_{M1} = 320.15 \text{ Nm}$$

MOTOR 2:

$$P_{M2} = 34 \text{ kW}$$

$$U_{M2} = 440 \text{ V}$$

$$I_{M2} = 87 \text{ A}$$

$$n_{M2} = 1060 \text{ min}^{-1}$$

$$R_{a2} = 0.3 \Omega$$

$$\rightarrow M_{M2} = \frac{P_{M2}}{\omega_{M2}} = 306.3 \text{ Nm}$$

$$C_{e2} = \frac{U_{M2} - I_{M2} R_{a2}}{\omega_{M2}} = 3.729 \text{ Nm/A}$$

$$M_{am2, n2} = 324.4 \text{ Nm}$$

$$M_{\text{err, var1}} = M_{am1, n1} - M_{M1} = 17.14 \text{ Nm}$$

$$M_{\text{err, var2}} = M_{am2, n2} - M_{M2} = 18.1 \text{ Nm}$$

a) ZAJEDNIČKA OSOVINA:  $\omega_1 = \omega_2$

$$I_{a1} = \frac{U_{a1}}{R_{a1}} - \frac{C_{e1}}{C_{e2} R_{a1}} (U_{M2} - I_{a2} R_{a2})$$

$$\text{MOMENTI: } M_E = 400 \text{ Nm}$$

$$M_{\text{err, red}} = 10 \text{ Nm}$$

$$M_{am1} - M_{\text{err, var1}} + M_{am2} - M_{\text{err, var2}} = M_E + M_{\text{err, red}}$$

$$C_{M1} \cdot I_{a1} - M_{\text{err, var1}} + C_{M2} I_{a2} - M_{\text{err, var2}} = M_E + M_{\text{err, red}}$$

$$I_{a2} = 80.56 \text{ A}$$

$$I_{a1} = 41.02 \text{ A}$$

$$\omega_1 = \omega_2 = \omega = \frac{U_{a2} - R_{a2} I_{a2}}{C_{e2}} \rightarrow \boxed{\omega = 114.7 \text{ rad/s}}$$

OPTEREČENOST:

$$M_{os1} = M_{am1} - M_{er, \omega \omega_1} = C_{m1} I_{a1} - M_{er, \omega \omega_1} = 141.08 \text{ Nm}$$

$$M_{os2} = M_{am2} - M_{er, \omega \omega_2} = C_{m2} I_{a2} - M_{er, \omega \omega_2} = 282.3 \text{ Nm}$$

$$P_1 = M_{os1} \omega$$

$$P_2 = M_{os2} \omega$$

$$P_{1\%} = \frac{P_1}{P_{1m}} \cdot 100 \rightarrow$$

$$\boxed{P_{1\%} = 49.04 \%}$$

$$P_{2\%} = \frac{P_2}{P_{2n}} \cdot 100 \rightarrow$$

$$\boxed{P_{2\%} = 95.24 \%}$$

$$b) M_{os1} = M_{os2} = \frac{410}{2} = 205 \text{ Nm}$$

$$M_{am2} = M_{os2} + M_{er, \omega \omega_2} = 223.1 \text{ Nm}$$

$$I_{a2} = \frac{M_{am2}}{C_{m2}} = 59.83 \text{ A}$$

$$U_{a2} = \omega \cdot C_{e2} + I_{a2} R_{a2} \rightarrow$$

$$\boxed{U_{a2} = 445.63 \text{ V}}$$

$$c) \phi_2^* = 0.95 \phi_m \rightarrow C_{2e}^* = 0.95 C_{2e} = 3.5423$$

$$\omega_1 = \omega_2, M_{os1} + M_{os2} = M_e + M_{e, \text{rd}} \rightarrow I_{a2} = 122.13 \text{ A}$$

$$I_{a1} = 3.27 \text{ A}$$

$$\boxed{\omega = 1087.37 \cdot \frac{\pi}{30} = 113.87 \text{ rad/s}}$$

NJE DOZVOLJEN TRAJNI RAD JER JE  $I_{a2} > I_{a2}$

M1\_2015

③ AM:

$$P_m = 15 \text{ kW}$$

$$f_m = 50 \text{ Hz}$$

$$n_m = 1460 \text{ min}^{-1}$$

$$\rightarrow M_s = 1500 \text{ min}^{-1} \quad (p=2)$$

$$M_{m,AS} = \frac{P_m}{\omega_n} = 98.11 \text{ Nm}$$

$$P_m = 13.5 \text{ kW}$$

$$I_m = 74 \text{ A}$$

$$U_m = 220 \text{ V}$$

$$n_m = 1450 \text{ min}^{-1}$$

$$R_a = 0.2 \Omega$$

$$\rightarrow c_e = c_m = \frac{U_m - R_a I_m}{\omega_n} = 1.3514$$

$$M_{m,IS} = \frac{P_m}{\omega_n} = 88.91 \text{ Nm}$$

$$M_{em,m} = c_m I_m = 100 \text{ Nm}$$

$$M_{er,ver} = M_{em,m} - M_{m,IS} = 11.1 \text{ Nm}$$

a)  $f_A = 30 \text{ Hz} \rightarrow M_{sA} = 900 \text{ min}^{-1}$

$$M_{e,AS} + M_{e,IS} = 0 \rightarrow M_{e,IS} = \underbrace{M_{em}}_{=0 \text{ (STROJ NIJE PRIKLUČEN)}} - M_{er,ver}$$

$$M_{e,AS} = M_{er,ver} = 11.1 \text{ Nm}$$

$$\frac{M_{e,AS}}{M_{m,AS}} = \frac{M_{sA} - M_A}{M_{sM} - M_m} \rightarrow$$

$$M_A = 895.48 \text{ min}^{-1}$$

b)  $f_B = 30 \text{ Hz} \rightarrow M_{sB} = 900 \text{ min}^{-1}$

$$U_a = -130 \text{ V} \rightarrow M_{AS,B} = -M_{IS,B}$$

$$\rightarrow \frac{M_{e,AS}}{M_{m,AS}} = \frac{M_{sB} - M_{AS,B}}{M_{sM} - M_m}$$

$$M_{e,AS} + M_{e,IS} = 0 \rightarrow M_{e,IS} = M_{em} + M_{er,ver} = c_m I_a + M_{er,ver}$$

$$I_a = \frac{U_a - c_e \omega_{IS,B}}{R_a}$$

$$\textcircled{1} \quad M_{e,AS} + \frac{\pi}{30} \frac{c_m c_e}{R_a} M_{AS,B} = - \frac{c_m}{R_a} U_a - M_{er,ver}$$

$$\textcircled{2} \quad (M_{sM} - M_m) M_{e,AS} + M_{m,AS} M_{AS,B} = M_{sB} M_{m,AS}$$

$$\begin{bmatrix} M_{e,AS} \\ M_{AS,B} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 10.99 \\ 895.51 \end{bmatrix}$$

$$\rightarrow M_{AS,B} = 895.51 \text{ min}^{-1}$$

c) ZA OBJE MODULACIJE VRIJEDI OMJER  $\frac{U_a}{U_{DC}} = 2D - 1$

$$D = \frac{U_a + U_{DC}}{2U_{DC}} = \frac{9}{44} \approx 0.205$$

$$U_a = -130 \text{ V}$$

$$U_{DC} = 220 \text{ V}$$



M1-2015

4.  $\left. \begin{array}{l} u_\alpha = 200 \text{ V} \\ u_\beta = -145 \text{ V} \end{array} \right\} \alpha = \arctan \frac{u_\beta}{u_\alpha} = -35.94^\circ \Rightarrow \underline{\text{II. SEKTOR}}$

$$\begin{bmatrix} u_a \\ u_b \\ u_c \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 & 0 \\ -\frac{1}{2} & \frac{\sqrt{3}}{2} \\ -\frac{1}{2} & -\frac{\sqrt{3}}{2} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} u_\alpha \\ u_\beta \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 200 \\ -225.57 \\ 25.57 \end{bmatrix}$$

$T_s = 2 \mu s$

$U_{DC} = 600 \text{ V}$

II. SEKTOR:  $U_1, U_6, U_7, U_8$

$$U_{REF} = U_1 \cdot \frac{T_1}{T_s} + U_6 \frac{T_6}{T_s} \rightarrow \begin{aligned} U_1 &= \frac{2}{3} U_{DC} \\ U_6 &= \frac{1}{3} U_{DC} - \frac{\sqrt{3}}{3} U_{DC} j \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} U_{REF} &= \frac{2}{3} U_{DC} \frac{T_1}{T_s} + \frac{1}{3} U_{DC} \frac{T_6}{T_s} - \frac{\sqrt{3}}{3} U_{DC} \frac{T_6}{T_s} j \\ &= \frac{U_{DC}}{3 T_s} (2 T_1 + T_6) - \frac{\sqrt{3} U_{DC}}{3 T_s} T_6 j = u_\alpha + u_\beta j \end{aligned}$$

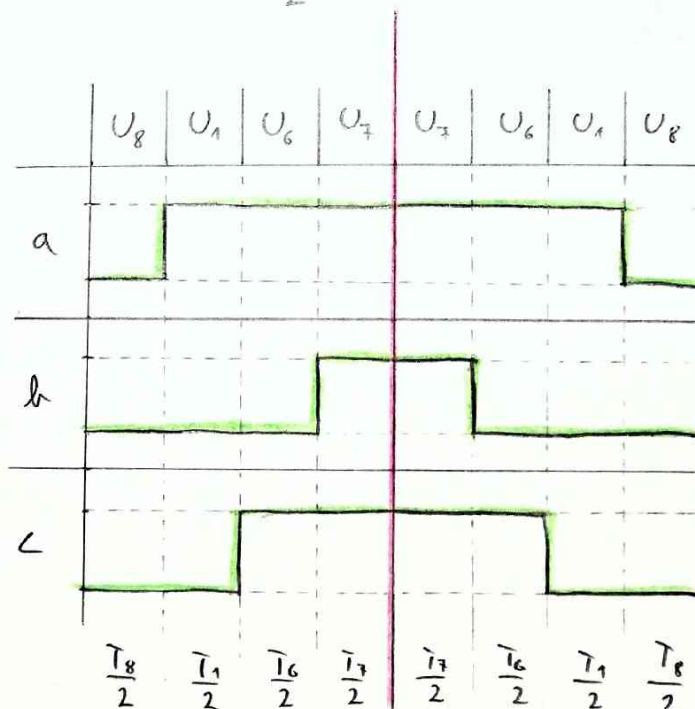
$$\left. \begin{aligned} 2 T_1 + T_6 &= \frac{3 T_s}{U_{DC}} u_\alpha \\ -T_6 &= \frac{\sqrt{3} T_s}{U_{DC}} u_\beta \end{aligned} \right\} \begin{aligned} T_1 &= 0.5814 \mu s \\ T_6 &= 0.8372 \mu s \\ T_0 &= T_s - T_1 - T_6 = 0.5814 \mu s \\ T_7 &= T_8 = \frac{T_0}{2} = 0.2907 \mu s \end{aligned}$$

	c	b	a
$u_8$	0	0	0
$u_1$	0	0	1
$u_6$	1	0	1
$u_7$	1	1	1

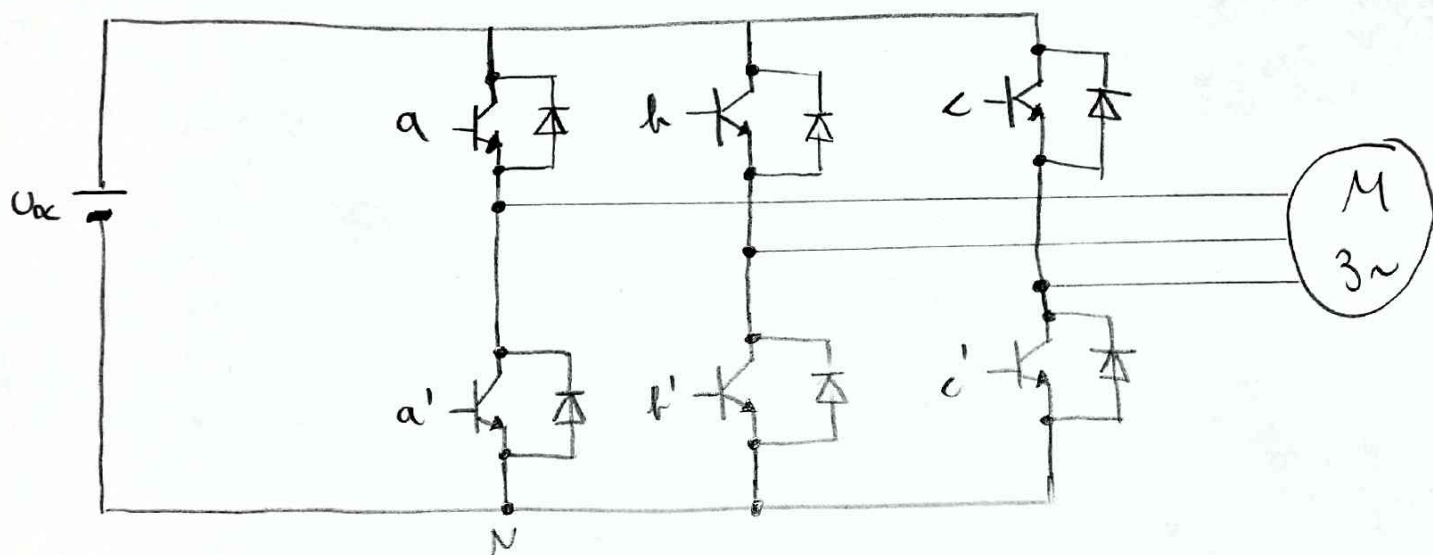
$T_c = T_6 + T_7 = 1.1279 \mu s$

$T_B = T_7 = 0.2907 \mu s$

$T_A = T_s - T_8 = 1.7093 \mu s$



SIMETRALA



$$|U_{ref}|_{max} = \frac{U_{dc}}{\sqrt{3}} = 200\sqrt{3} \text{ V}$$