

# Osnove Mehatronike

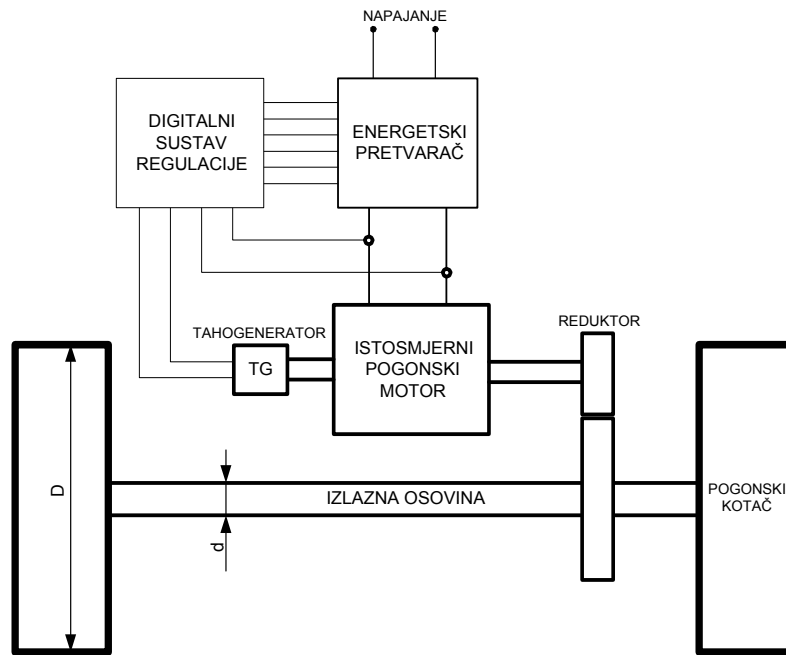
## Zadaci za vježbu – završni ispit

Prilikom pripreme za završni i ponovljeni završni ispit potrebno je proći i pripremne zadatke za I. i II. međuispit.

### **Zadatak 1.**

Istosmjerni nezavisno uzbuđeni motor (s konstantnom uzбудom) nazivnih podataka 70 V, 125 A, 1000 o/min,  $\eta_m = 0,95$  i otporom armature  $R_a = 0,05 \Omega$ , koristi se za pogon transportnih kolica u skladišnom prostoru, sl. 1.

- Skicirati shemu četverokvadrantnog čopera čije su ulazne stezaljke spojene na dvije serijski spojene akumulatorske baterije od 42 V i jednu periodu napona na izlazu iz pretvarača. Sklopkama se upravlja bipolarnom modulacijom.
- Pogonski motor je pomoću reduktora korisnosti  $\eta_r = 0,9$  spojen na pogonske kotače transportnih kolica (sl. 1.). Koliko mora iznositi prijenosni omjer reduktora da bi se pri nazivnom opterećenju pogonskog motora na oba pogonska kotača dobio okretni moment od 125 Nm?
- Kolika je postotna promjena brzine vrtnje motora u odnosu na brzinu praznog hoda, ako se motor nazivno optereti?
- Koliko mora iznositi promjer pogonskih kotača  $D$ , da bi se transportna kolica kretala brzinom od 5 m/s pri nazivno opterećenom motoru?
- Koliko mora iznositi napon armature pogonskog istosmjernog motora da bi se uz nominalno opterećenje postigla brzina kretanja kolica od 3 m/s? Koliko pri tome iznosi faktor vođenja?
- Koliko iznosi ukupni moment inercije sustava na strani motora? Moment inercije motora iznosi  $I_m = 0,075 \text{ kg m}^2$ , malog zupčanika iznosi  $I_{mz} = 0,01 \text{ kg m}^2$ , velikog zupčanika iznosi  $I_{vz} = 0,04 \text{ kg m}^2$  i kotača iznosi  $I_k = 0,07 \text{ kg m}^2$ .
- Sustav transportnih kolica je definiran kao digitalni sustav regulacije brzine vrtnje istosmjernog motora, a mjerni član brzine vrtnje je istosmjerni tahogenerator. Ako je karakteristika mjernog člana  $60\text{V}/1000\text{min}^{-1}$ , kolika je razlučivost (rezolucija) mjerenja brzine vrtnje motora, ako se za analognu digitalnu pretvorbu koristi 12 bitni A/D pretvornik napajan s +/- 10V? Izračunajte iznos naponskog djelitelja izlaznog napona istosmjernog tahogeneratorsa tako da se osigura mjerenje brzine vrtnje u rasponu od -1000 do 1000 o/min.



Sl. 1. Mehatrički sustav transportnih kolica

**Rješenje:**

a)

Pogledati predavanje [OM\\_Pojačala\\_8](#) i predavanje [Pred\\_11](#) iz predmeta ELESUS.

b)

Snaga na izlaznoj osovini (osovina na koju su pričvršćeni kotači) pri nazivno opterećenom motoru iznosi

$$P_{io} = U_n \cdot I_n \cdot \eta_m \cdot \eta_r = 70 \cdot 125 \cdot 0,95 \cdot 0,9 = 7481,25 \text{ W.}$$

Uz poznatu snagu na izlaznoj osovini i okretne momente kotača moguće je odrediti brzinu vrtnje kotača

$$\omega_k = \frac{P_{io}}{2 \cdot M_k} = \frac{7481,25}{2 \cdot 125} = 29,925 \text{ rad/s.}$$

Prijenosni omjer reduktora treba iznositi

$$i = \frac{\omega_m}{\omega_k} = \frac{n_m \cdot \pi}{30 \cdot \omega_k} = \frac{1000 \cdot \pi}{30 \cdot 29,925} = 3,5.$$

c)

Više o istosmjernom motoru moguće je pronaći u datoteci [Istosmjerni strojevi](#) na stranicama predmeta Praktikum upravljanja električnim strojevima.

Iz naponske jednadžbe istosmjernog motora moguće je izraziti nazivnu protuelektromotornu silu:

$$U = E + I_a R_a \rightarrow E_n = U_n - I_{an} R_a = 70 - 125 \cdot 0,05 = 63,75 \text{ V.}$$

Protuelektromotorna sila, pri konstantnoj uzbuđi, ovisi o brzini vrtnje:

$$E = C_e \cdot n.$$

Omjer protuelektromotornih sila jednak je omjeru brzina. Kako je u praznom hodu protuelektromotorna sila jednaka naponu napajanja, brzina praznog hoda iznosi

$$n_{PH} = \frac{U}{E_n} \cdot n_n = \frac{70}{63,75} \cdot 1000 = 1098 \text{ o/min.}$$

Postotna promjena brzine vrtnje motora pri nazivnom opterećenju u odnosu na brzinu praznog hoda iznosi

$$\Delta n = \frac{n_n - n_{PH}}{n_{PH}} \cdot 100 \% = \frac{-98}{1098} \cdot 100 \% = -8,93 \%$$

d)

Pri nazivno opterećenom motoru kotač se okreće brzinom od 29,925 rad/s. Promjer kotača potreban da bi se pri nazivnoj brzini vrtnje motora kolica gibala brzinom od 5 m/s iznosi

$$D = \frac{2 \cdot v}{\omega} = \frac{2 \cdot 5}{29,925} = 0,334 \text{ m.}$$

e)

Protuelektromotorna sila pri gibanju kolica brzinom 3 m/s iznosi

$$E = \frac{n_k \cdot i}{n_n} \cdot E_n = \frac{i \cdot v \cdot 30 \cdot 2}{n_n \cdot \pi \cdot D} \cdot E_n = \frac{3,5 \cdot 3 \cdot 30 \cdot 2}{1000 \cdot \pi \cdot 0,334} \cdot 63,75 = 38,25 \text{ V}$$

Moment stroja je nazivan iz čega slijedi da će i struja biti nazivna.

$$M = C_m \cdot I_a \quad (C_m = \frac{30}{\pi} C_e).$$

Napon istosmjernog motora treba iznositi

$$U = E + I_a R_a = 38,25 + 125 \cdot 0,05 = 44,5 \text{ V}$$

Srednja vrijednost napona na izlazu bipolarno upravljano četverokvadrantnog čopera iznosi

$$U = \frac{1}{T} [U_{DC} \cdot D \cdot T - U_{DC} \cdot (1 - D) \cdot T] = 2 \cdot U_{DC} \cdot D - U_{DC}$$

Faktor vođenja iznosi

$$D = \frac{U + U_{DC}}{2 \cdot U_{DC}} = \frac{44,5 + 84}{2 \cdot 84} = 0,765.$$

f)

Ukupna zamašna masa na osovini motora je jednaka zbroju svih zamašnih masa reduciranih na osovinu motora tj.  $I = I_m + I_{mz} + I'_{vz} + 2 \cdot I'_k$ .

Zamašnu masu kotača i velikog zupčanika na strani motora moguće je odrediti izjednačavanjem izraza za kinetičku energiju na strani tereta i strani motora uzimajući u obzir korisnost zupčastog prijenosa:

$$\frac{(2 \cdot I_k + I'_{vz}) \cdot \omega_k^2}{2} = \eta_r \frac{(2 \cdot I'_k + I'_{vz}) \cdot \omega_m^2}{2} \rightarrow$$

$$(2 \cdot I'_k + I'_{vz}) = \frac{2 \cdot I_k + I'_{vz}}{\eta_r} \cdot \left( \frac{\omega_k}{\omega_m} \right)^2 = \frac{2 \cdot I_k + I'_{vz}}{\eta_r} \cdot i^2 = \frac{2 \cdot 0,07 + 0,04}{0,9} \cdot 3,5^2 = 2,45 \text{ kg m}^2$$

Ukupna zamašna masa reducirana na osovinu motora iznosi:

$$I = I_m + I_{mz} + 2 \cdot I'_k + I'_{vz} = 0,075 + 0,01 + 2,45 = 2,535 \text{ kg m}^2$$

g)

Pri brzini vrtnje od 1000 o/min napon na stezaljkama tahogeneratorskog iznosi 60 V. Napon na ulazu u A/D pretvornik treba biti u granicama od -10 do 10 V iz čega slijedi iznos pojačanja naponskog dijelila

$$k_d = \frac{10}{60} = 0,167.$$

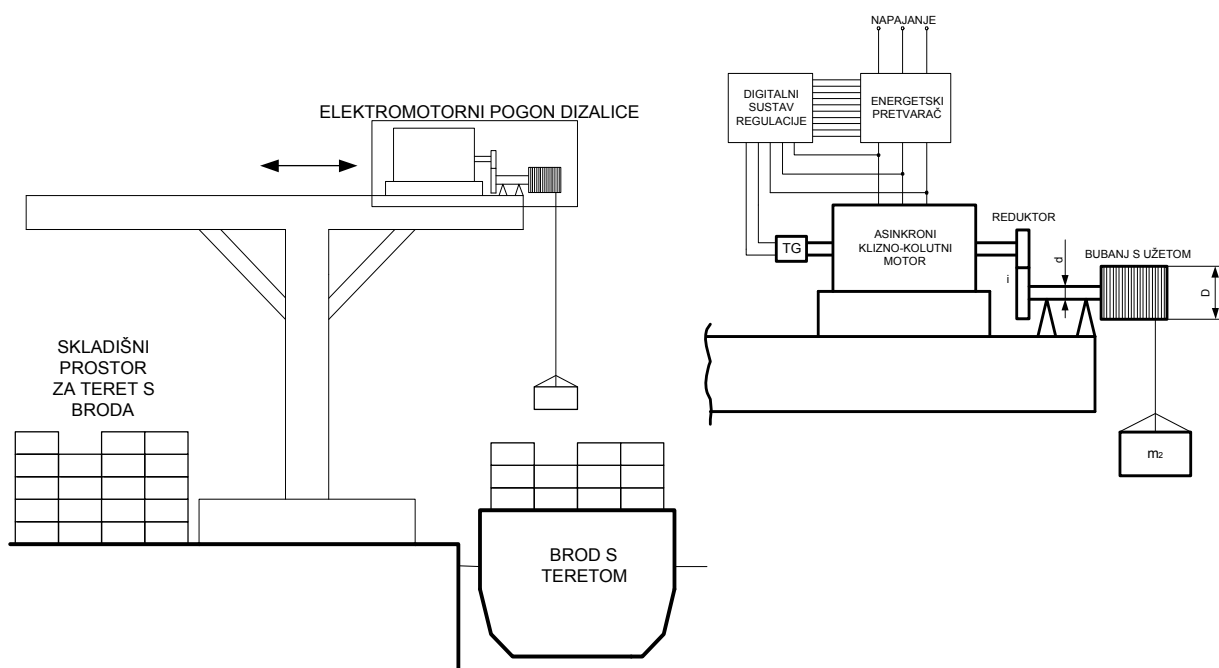
Na raspolaganju je 12 bitova od kojih se bit najviše vrijednosti koristi za predznak. Razlučivost iznosi

$$R_{PV} = \frac{MV_{\max} - MV_{\min}}{PV_{\max} - PV_{\min}} = \frac{2000}{4096} = 0,488 \text{ o/min.}$$

## **Zadatak 2.**

Trofazni asinkroni kavezni motor nazivnih podataka 380 V, 100 A, 700 rpm,  $\cos\varphi = 0,85$ ,  $\eta_m = 0,95$ , koristi se na maloj lučkoj dizalici za istovar brodskog tereta, sl. 2. Odgovorite na slijedeća pitanja:

- S obzirom na tip električnog aktuatora i funkciju koju obavlja (4Q pogon), koje energetske pojačala treba odabrati? Skicirajte shemu tog pojačala s označenim cjelinama. Objasnite na koji način (upravljačko načelo) i koje izlazne veličine pojačala treba mijenjati u svrhu kontinuirane promjene brzine dizanja tereta od 0 do 120 % nazivne brzine.
- Pogonski motor je preko reduktora korisnosti  $\eta_r = 0,9$  izlaznom osovinom promjera  $d = 100 \text{ mm}$  spojen s bubnjem promjera  $D = 1,706 \text{ m}$ . Na bubanj je namotano pleteno čelično užo čijim se namatanjem (odmatanjem) diže (spušta) teret. Koliko mora iznositi prijenosni omjer reduktora da bi se pri nazivno opterećenom motoru teret dizao brzinom od 2,5 m/s?
- Uz odabrani prijenosni omjer reduktora (pod b)) koja se najveća masa  $m_2$  može dizati pri nazivno opterećenom motoru?
- Da li se može istu masu tereta (pod c)) dizati brzinom 1 m/s? Koja je razlika u odnosu na slučaj kada isti teret dižemo brzinom 2,5 m/s? Ucertajte te dvije radne točke na vanjsku karakteristiku asinkronog motora. Koliki je omjer gubitaka u rotoru za ta dva slučaja?
- Radi se o sustavu regulacije brzine vrtnje asinkronog motora s inkrementalnim enkoderom (1024 imp/okr) kao mjernim članom brzine vrtnje. Stvarna brzina vrtnje se dobije mjerenjem broja impulsa u jedinici vremena (vremenu uzorkovanja) koje iznosi 10 ms (tzv. M metoda). Kolika je razlučivost mjerenja brzine vrtnje tereta? Da li je važno na koju stranu reduktora (prema motoru ili prema radnom mehanizmu) treba postaviti mjerni član brzine vrtnje?



Sl. 2. Mehatronički sustav lučke dizalice

**Rješenje:**

a)

Za pretvarač je najprikladnije odabrati frekvencijski pretvarač. Pretvaračem se upravlja tako da omjer napona i frekvencije na izlazu pretvarača bude konstantan u području frekvencija od 0 do nazivne (skalarno upravljanje asinkronog motora).

Do nazivne brzine vrtnje kontinuirano se povećavaju napon i frekvencija na izlazu pretvarača. Za brzine veće od nazivnih napon na izlazu pretvarača ostaje na nazivnoj vrijednosti, a povećava se frekvencija.

b)

Prijenosni omjer reduktora treba iznositi

$$i = \frac{\omega_m}{\omega_b} = \frac{\frac{n_n \cdot \pi}{30}}{\frac{2 \cdot v_t}{D}} = \frac{\frac{700 \cdot \pi}{30}}{\frac{2 \cdot 2,5}{1,706}} = 25$$

c)

Snaga na strani tereta iznosi

$$P_t = m_2 \cdot g \cdot v_t = M_m \cdot \omega_m \cdot \eta_r$$

Masa koja se može dizati brzinom 2,5 m/s iznosi

$$m_2 = \frac{M_m \cdot \omega_m \cdot \eta_r}{g \cdot v_t} = \frac{\sqrt{3} \cdot U \cdot I \cdot \cos \varphi \cdot \eta_m \cdot \eta_r}{g \cdot v_t} = \frac{\sqrt{3} \cdot 380 \cdot 100 \cdot 0,85 \cdot 0,95 \cdot 0,9}{9,81 \cdot 2,5} = 1950,38 \text{ kg.}$$

d)

S odabranim frekvencijskim pretvaračem i skalarnim upravljanjem moguće je ostvariti radnu točku kod koje dižemo nazivni teret s brzinom od 1 m/s. Gubici u obje točke su približno jednaki jer je klizanje približno jednako tj. nazivno.

e)

Kod M metode mjerenja brzine vrtnje mjeri se broj impulsa u vremenu uzorkovanja. Točnost mjerenja je veća ako je broj impulsa u tom vremenu veći. Kako se osovina motora okreće većom brzinom od osovine tereta, izmjereni broj impulsa u vremenu uzorkovanja biti će veći ako se enkoder montira na kraj osovine motora.

Minimalni broj impulsa u vremenu uzorkovanja je jednak jedan. Jedan impuls odgovara kutu od  $2\pi / N$ . Iz navedenog slijedi da minimalna brzina koja se može izmjeriti (razlučivost) iznosi

$$R_e = \frac{2\pi}{T_s} = \frac{2\pi}{0,01} = 0,6136 \text{ rad/s} = 5,859 \text{ o/min.}$$

Brzina vrtnje tereta je 25 puta manja od brzine vrtnje motora, tako da razlučivost brzine vrtnje tereta iznosi

$$R_t = \frac{5,859}{i} = 0,234 \text{ o/min.}$$

### **Zadatak 3.**

Za električno vozilo na autonomni pogon odabran je istosmjerni motor kao aktuator s podacima  $U_n = 40 \text{ V}$ ,  $I_n = 20 \text{ A}$ ,  $R_a = 0,2 \Omega$ ,  $n_n = 1200 \text{ o/min}$ . Motor se napaja preko četverokvadrantnog čopera čije su ulazne stezaljke spojene na dvije serijski spojene akumulatorske baterije od 24 V.

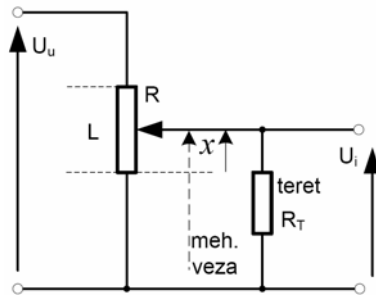
- Odredite srednju vrijednost napona na motoru ako se želi postići brzina vrtnje motora od 800 o/min pri kratkotrajnom opterećenju 50 % većem od nominalnoga. Ukoliko se koristi bipolarna modulacija sklopki u odabranom pojačalu, koliki faktor vođenja sklopki je potreban za traženu srednju vrijednost napona?
- Brzina vrtnje se mjeri pomoću inkrementalnog enkodera (2048 imp/okr) s četiri digitalna izlaza (A,  $\overline{A}$ , B,  $\overline{B}$ ). Stvarna brzina vrtnje se dobije mjerenjem broja impulsa u jedinici vremena (vremenu uzorkovanja) koje iznosi 10 ms (tzv. M metoda). Koliku je razlučivost mjerenja brzine moguće ostvariti?

### **Rješenje:**

- $U = 30 \text{ V}$ ,  $D = 0,8125$
- $R = 0,732$

**Zadatak 4.**

Translacijski pomak mjeri se pomoću otporničkog pretvornika pomaka. Koliko iznosi pogreška mjerenja položaja pri  $x = L/2$  ako je  $R = 100\ \Omega$ , a  $R_T = 2000\ \Omega$ ?



Sl. 3. Otpornički pretvornik pomaka

**Rješenje:**

1,23 %