

3. Ispitni rok

10. rujna 2012

Ime i Prezime:

Matični broj:

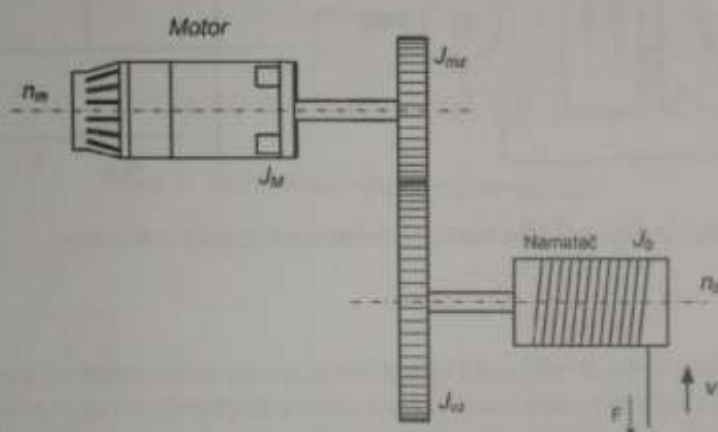
Napomena: Zadatke obavezno predati s rješenjima nakon završetka testa.

1. zadatak (8 bodova)

Istosmjerni motor s nezavisnom uzbudom za pogon namatača žice (Slika 1) ima sljedeće podatke:

$$P_n = 2.2 \text{ [kW]}, \quad U_{an} = 120 \text{ [V]}, \quad I_{an} = 22.5 \text{ [A]}, \quad n_n = 390 \text{ [min}^{-1}\text{]}, \quad R_a = 0.7 \text{ [\Omega]}.$$

Motor ima moment inercije $J_M = 0.05 \text{ [kgm}^2\text{]}$ i preko malog zupčanika momenta inercije $J_{mz} = 0.015 \text{ [kgm}^2\text{]}$ pogoni drugu osovinu s većim zupčanikom ukupnog momenta inercije $J_{b+vx} = J_b + J_{vx} = 1.3 \text{ [kgm}^2\text{]}$. Na drugoj osovinu nalazi se bubanj namatača na kojeg se namata žica, koja djeluje silom $F = 1300 \text{ [N]}$ na bubanj u smjeru prikazanom na slici. Omjer reduktora iznosi $i = 20$. Korisnost zupčanog prijenosa iznosi $\eta_{zp} = 0.8$, a korisnost prijenosa bubanj-žica $\eta_b = 0.95$. Polumjer bubnja iznosi $r_b = 0.6 \text{ [m]}$. Ulaz istosmjernog pretvarača spojen je na istosmjerni izvor napona 120 [V] .



Slika 1: Pogon namatača žice realiziran s istosmjernim motorom

- (4 boda) Odrediti ukupan moment inercije sustava i moment tereta reduciran na osovinu motora.
- (3 boda) Istosmjerni motor s nezavisnom uzbudom napaja se iz 4-kvadrantnog čopera. Uz faktor vođenja $D = 0.75$ i bipolarnu modulaciju, odrediti brzinu namatanja žice. U obzir uzeti gubitke trenja i ventilacije.
- (1 bod) Nacrtati valni oblik napona na motoru uz faktor vođenja $D = 0.8$.

2. zadatak (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 podatci asinkronog stroja su:

$$P_n = 15 \text{ [kW]}, \quad f_n = 50 \text{ [Hz]}, \quad U_n = 380 \text{ [V]}, \quad \cos \phi_n = 0.76, \quad n_n = 1460 \text{ [min}^{-1}\text{]}.$$

Nazivni podatci istosmjernog stroja su:

$$P_n = 13.5 \text{ [kW]}, \quad I_n = 74 \text{ [A]}, \quad U_n = 220 \text{ [V]}, \quad n_n = 1450 \text{ [min}^{-1}\text{]}, \quad R_a = 0.2 \text{ [\Omega]}.$$

Moment trenja i ventilacije asinkronog stroja se zanemaruje, a moment trenja i ventilacije istosmjernog stroja je konstantan.

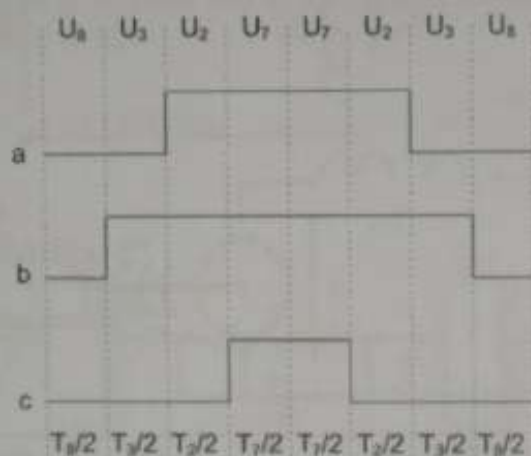
Slika 3: Sustav za regulaciju brzine s vektorski upravljanim asinkronim motorom

5. zadatak (3 boda)

Asinkroni stroj je vektorski upravljani pri čemu se za upravljanje sklopkama pretvarača koristi vektorska modulacija širine impulsa. Valni oblici upravljačkih signala prikazani su na Slici 4. Vremena vođenja unutar intervala $T_s = 2 [\mu\text{s}]$ su:

$$T_2 = 0.089 [\mu\text{s}], \quad T_0 = 0.846 [\mu\text{s}].$$

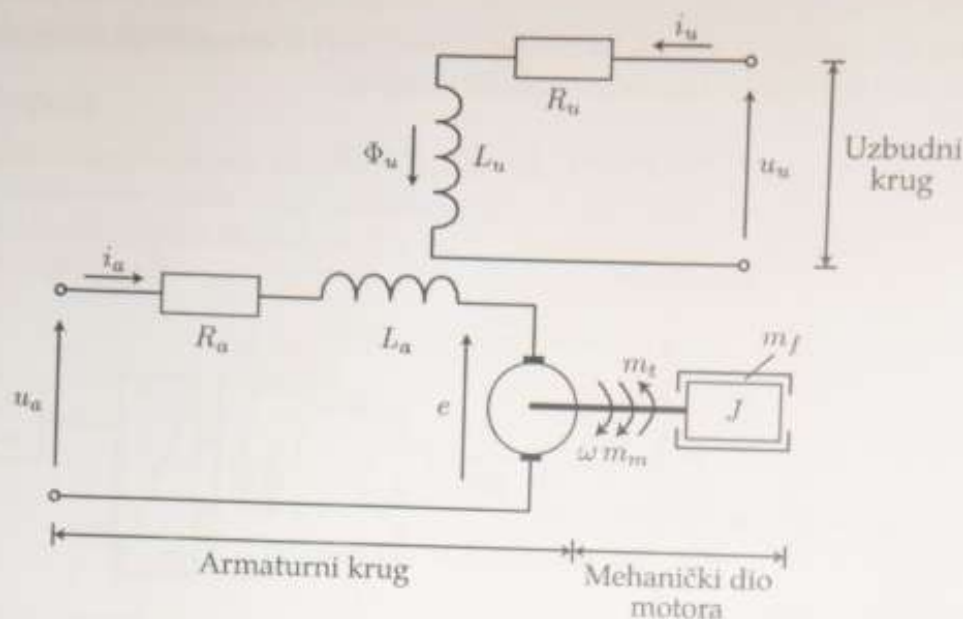
Napon istosmjernog međukruga iznosi $U_{dc} = 600 [\text{V}]$. Odrediti α i β komponente referentnog vektora napona statora. Skicirati izmjenjivač i na njemu označiti sklopke.



Slika 4: Valni oblici upravljačkih signala

6. zadatak (12 bodova)

Na Slici 5 prikazana je nadomjesna shema istosmjernog motora s konstantnom i nezavisnom uzбудom. Sustav upravljanja realiziran je kao tropetljasti kaskadni sustav upravljanja po zakretu (položaju), brzini vrtnje i razvijenom momentu motora posredno preko struje armature. Istosmjerni se motor napaja iz tiristorskog usmjerivača.

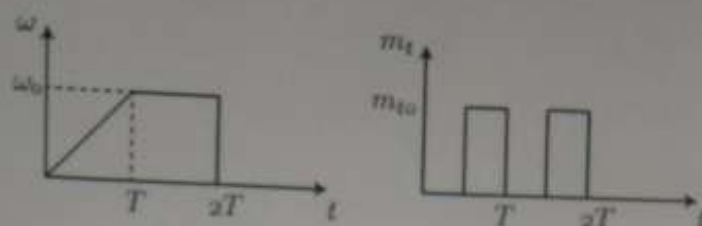


Slika 5: Nadomjesna shema istosmjernog motora

- (1 bod) Postavite matematički model istosmjernog motora s konstantnom i nezavisnom uzбудom, pri čemu je napon armature u_a ulazna veličina, brzina vrtnje motora ω izlazna veličina, a moment tereta m_t poremećajna veličina sustava. Dobiveni sustav jednačbi prikažite blokovskim dijagramom.
- (1 bod) Nacrtajte blokovski dijagram kaskadnog sustava upravljanja istosmjernog motora, s dva kruga upravljanja: (i) moment motora posredno preko struje armature, i (ii) brzina vrtnje motora. Na dijagramu jasno naznačite gdje se ograničavaju moment motora i brzina vrtnje motora.
- (2 boda) Potrebno je projektirati regulator u krugu upravljanja strujom armature, pri čemu je regulator PI strukture. Za projektiranje regulatora koristite praktičnu metodu tehničkog optimuma. Kašnjenje mjernog člana struje armature i tiristorskog usmjerivača aproksimirano je PT_1 članom.
- (2 boda) Potrebno je projektirati regulator u krugu upravljanja brzinom vrtnje, pri čemu je regulator PI strukture. Za projektiranje regulatora koristite praktičnu metodu simetričnog optimuma. Kašnjenje mjernog člana brzine vrtnje aproksimirano je PT_1 članom.
- (6 bodova) Skicirajte odziv brzine vrtnje i momenta motora uz prethodno projektirani sustav upravljanja, ako na sustav djeluju pobude prikazane na Slici 6. Pretpostavite da u sustavu ne postoji moment uslijed djelovanja trenja i ventilacije, da je sustav u trenutku $t = 0$ u mirovanju, te da se pri ovim pobudama u sustavu upravljanja ne aktiviraju ograničenja brzine vrtnje i momenta motora. Na odzivima jasno naznačite iznos u ustaljenom stanju te procijenjenu duljinu trajanja prijelazne pojave. Pretpostavite da je nadomjesna vremenska konstanta zatvorenog kruga $T_c = \frac{T}{10}$.

7. zadatak (18 bodova)

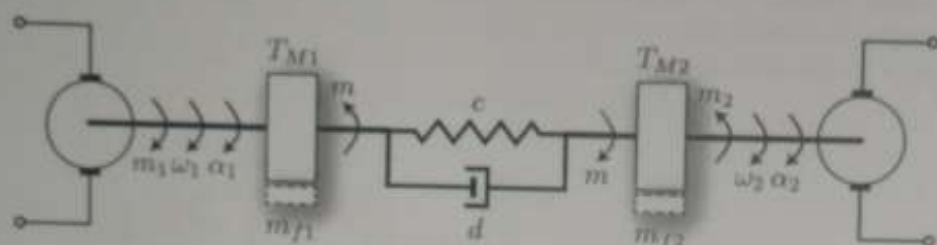
Na Slici 7 prikazan je sustav s dva nezavisno uzbuđena istosmjerna motora spojena na istu osovinu s krutim prijenosom, pri čemu jedan radi u motorskom a drugi u generatorskom režimu rada. Izlazna veličina sustava je brzina vrtnje generatora ω_g kojom se upravlja momentom motora m_m . Upravljanje momentom generatora m_g izvedeno je zasebno, i može se zanemariti. Regulator je izveden kao polinomski regulator u digitalnom obliku. Analogna vrijednost napona armature motora u_a dobiva se iz digitalne vrijednosti



Slika 6: Referentna vrijednost brzine vrtnje i moment tereta

u_{ref} pomoću D/A pretvornika koji je izveden kao ekstrapolator nultog reda (engl. Zero-Order Hold). Zadani su parametri istosmjernih motora:

$$R_a = 2.147 [\Omega], \quad L_a = 10.735 [\text{mH}], \quad c_e = c_m = 2.147 \left[\frac{\text{Vs}}{\text{rad}} \right], \quad J = 0.1 [\text{kgm}^2].$$



Slika 7: Dva istosmjerna motora spojena na istu osovinu

- (2 boda) Postavite matematički model promatranog sustava, pri čemu je napon armature motora u_a ulazna veličina, a brzina vrtnje generatora ω_g izlazna veličina sustava.
- (2 boda) Blokovskim dijagramom prikažite strukturu sustava upravljanja brzinom vrtnje generatora ω_g polinomskim regulatorom. Na dijagramu naznačite sve relevantne signale, kao i prijenosne funkcije pojedinih blokova. Pretpostavite da mjerni član brzine vrtnje ne unosi nikakvo dodatno kašnjenje.
- (1 bod) Koliko iznosi konstantna krutosti c u slučaju krutog prijenosa?
- (1 bod) Odredite modelsku prijenosnu funkciju $G_M(z)$, pri čemu karakteristični polinom $A_M(z)$ odredite prema optimumu dvostrukog odnosa. Uzmite da je vrijeme diskretizacije $T = 10 [\text{ms}]$, a nado-mjesna vremenska konstanta zatvorenog kruga upravljanja $T_c = 25 [\text{ms}]$.
- (4 boda) Potrebno je projektirati sustav upravljanja brzinom vrtnje generatora ω_g uz primjenu polinomskog regulatora, sintezom u diskretnom području. Pri tome je potrebno osigurati stacionarnu točnost s obzirom na referentnu vrijednost brzine vrtnje generatora. Observer odaberite tako da se poremećaj kompenzira u najkraćem mogućem vremenu.
- (4 boda) Potrebno je projektirati sustav upravljanja brzinom vrtnje generatora ω_g uz primjenu polinomskog regulatora, sintezom u diskretnom području. Pri tome je potrebno osigurati stacionarnu točnost s obzirom na referentnu vrijednost brzine vrtnje generatora, kao i na moment generatora. Observer odaberite tako da se uz dovoljno brzu kompenzaciju poremećaja osigura i robusnost sustava upravljanja na mjerni šum te modelske neodređenosti.
- (4 boda) Skicirajte odzive momenta motora m_m , brzine vrtnje motora ω_m i generatora ω_g , na skokovitu promjenu referentne vrijednosti brzine vrtnje generatora $\omega_{g,r}(t) = 100S(t) [\text{s}^{-1}]$ uz djelovanje momenta generatora $m_g(t) = 50S(t-1) [\text{Nm}]$. Pretpostavite da u sustavu djeluje konstantan moment trenja i ventilacije $M_f = 5 [\text{Nm}]$. Na odzivima jasno naznačite stacionarne vrijednosti te procijenjenu duljinu trajanja prijelazne pojave. Pretpostavite da je na sustav upravljanja primijenjen polinomski regulator u digitalnom obliku određen pod e).