

Digitalno upravljanje pretvaračima i pogonima I

Računske vežbe

1. Trofazni asinhroni motor je vezan u zvezdu i konstruisan tako da se napaja mrežnim naponom. Motor se napaja putem TTI (trofazni tranzitorski inverter). Period rada impulsno-širinske modulacije je $100 \mu\text{s}$, napon jednosmernog međukola je 500V . Odnos polazne i nominalne struje motora je 5. Na osnovu opravdanih zanemarenja, proceniti amplitudu valovitosti statorske struje koja se ima pri napajanju navedenim TTI:

 - a) u opštem slučaju, $\Delta I = f(m)$ (m - ugao vođenja gornjeg tranzistora u legu)
 - b) ako se tranzistori uključuju tako da je u jednoj polovini PWM perioda uključen gornji tranzistor, a u drugoj polovini donji ($m = 0,5$).
2. Posmatrati motor jednosmerne struje sa stalnim magnetima čiji su parametri armature $L_a = 20\text{mH}$, $R_a = 0 \Omega$. Motor se upravlja iz četvorokvadrantnog čopera koji se napaja iz izvora jednosmernog napona od 500V . Motor razvija nominalni moment i u armaturnom namotaju postoji struja od 10A . Učestanost rada PWM-a je 5kHz .

 - a) Odrediti valovitost struje u funkciji brzine obrtanja
 - b) Odrediti valovitost struje ako motor razvija brzinu jednaku 30% maksimalne brzine.
 - c) Odrediti maksimalnu valovitost koja se očekuje na motoru.
3. Asinhroni motor poznatih parametara napaja se iz trofaznog tranzitorskog invertora. Analiza regulatora struje se može vršiti u s -domenu.

 - a) Uzimajući da regulator struje ima proporcionalno i integralno dejstvo, odrediti pojačanja regulatora tako da se dobije propusni opseg ω_{BW} i prigušenje $\xi = 1$.
 - b) Kakav je odnos pojačanja potreban da bi se izgubila nula u brojiocu funkcije prenosa?
4. Asinhroni motor napaja se iz trofaznog tranzitorskog invertora. Komponenta struje na prekidačkoj učestanosti ima amplitudu (valovitost) od 5%. Signal struje se odabira pomoću 12-bitnog ADC-a. Period rada impulsno-širinske modulacije je $100 \mu\text{s}$. Maksimalna efektivna vrednost struje motora 5 puta veća od nominalne.

 - a) Odabrati filter protiv lažnih likova strujnog signala tako da filtriran signal unosi kašnjenje od 2° na frekvenciji ulaznog signala od 1kHz .
 - b) Odrediti parametre filtra tako da ADC ne vidi uticaj valovitosti pri odabiranju.
 - c) Koliko odbiraka struje treba uzeti u jednom periodu tako da bude zadovoljeno Šenonovo pravilo?
 - d) Odgovoriti na prethodno pitanje u slučaju kada proces izračunavanja unosi transportno kašnjenje od jedne periode.
5. Analizirati dvokvadrantni čoper sa IGBT tranzistorima. Napon napajanja čopera je 500V , indeks modulacije je $m=0.5$, ekvivalentna induktivnost rasipanja se može smatrati toliko velikom da se potrošač može predstaviti strujnim ponorom, frekvencija rada PWM modulacije je 10kHz . Struja koju čoper uzima iz mreže ima srednju vrednost od 100A . Odabrati LC filter koji treba staviti na ulaz čopera tako da se komponenta struje na 10kHz smanji 100 puta. LC filter odabrati tako da maksimalna struja koja se može javiti prilikom priključivanja filtera na napon ne bude veća od 500A .

6. Četvoropolni asinhroni motor je indirektno upravljani (IFOC). Motor neopterećen radi u ustaljenom stanju pri struji statora od $I_s = 0.6403\text{ A}$. Ekvivalentni koeficijent trenja mehaničkog sistema iznosi 0.03 Nms/rad . Vremenska konstanta rotora je $T_R = 9.26\text{ ms}$, dok su sopstena induktivnost i otpornost rotorskog namotaja $L_R = 0.8111\text{ H}$ i $R_R = 1.2\ \Omega$. Ako se kao posledica ukrštanja enkoderskih faza u mašini ima fluks od $\Psi_m = 0.72\text{ Wb}$, odrediti:

- Vrednost na izlazu iz kalkulatora klizanja
- Mehaničku ugaonu brzinu rotora

7. Асинхронни мотор је контролисан по алгоритму индиректног векторског управљања. У случају да су укрштене фазе енкодера и у случају да је момент оптерећења једнак 0 а референца момента једнака номиналној вредности момента, одредити којом се брзином обрће вратило асинхроног мотора у устаљеном стању?

8. Sinhroni motor sa stalnim magnetima je vektorski kontrolisan. Radi se o izotropnoj mašini sa dva para polova, koja u praznom hodu ima efektivnu vrednost linijskog napona od 151 V pri brzini od $n = 1000\text{ rpm}$. Odrediti odnos $K_m = M_{em}/I_s^{rms}$ između momenta i efektivne vrednosti statorske struje.

9. Na osnovu merenih signala u pogonu sa direktnom vektorskom kontrolom (DFOC) odrediti Ψ_{as} , $\Psi_{\beta s}$, Ψ_{ar} , $\Psi_{\beta r}$, M_{em} i Ω_m .

10. Na proizvoljnom pogonu realizovana je indirektna vektorska kontrola. U zavisnosti od odstupanja estimirane rotorske otpornosti od stvarne izraziti greške u rotorskom fluksu i momentu motora.

11. Četvoropolni izotropni sinhroni motor sa stalnim magnetima je vezan u zvezdu. Motorom se vektorski upravlja pomoću TTI-a sa strujnom regulacijom po principu sinusne modulacije. Fluks stalnih magneta koji obuhvata i statorske namotaje jednak je $\Psi_{Rm} = 1\text{ Wb}$, dok su struje statora jednake $i_d = -1\text{ A}$ i $i_q = 2\text{ A}$. Otpornost i induktivnost rasipanja statorskog namotaja su $R_s = 0$ и $L_s = 100\text{ mH}$. Napon jednosmernog međukola je $E_{DC} = 500\text{ V}$. Može se smatrati da stalni magneti stvaraju prostoperiodične EMS

- Odrediti elektromagnetski momenat.
- Odrediti najveću brzinu koju je moguće dostići u ovom režimu. Kolika se brzina može dostići ako se napon jednosmernih sabirnica umanjuje za 10%.
- Kolika se brzina može očekivati ukoliko se ne vrši slabljenje polja a napon je i dalje smanjen za 10%?
- Koja je maksimalna brzina koja se može dostići bez slabljenja polja i pri momentu od 10 Nm ?

12. Za asinhroni motor kontrolisan po algoritmu indirektnog vektorskog upravljanja koji radi u ustaljenom stanju poznato je $p = 2$, $R_s = R_r = 1\ \Omega$, $L_m = 700\text{ mH}$, $L_{\gamma s} = L_{\gamma r} = 20\text{ mH}$, $i_d = 2\text{ A}$, $i_q = 2\text{ A}$, dok je $\Omega_m = 50\text{ rad/s}$. Motor je vezan u zvezdu. Kod zadavanja struja u dq koordinatnom sistemu podrazumeva se $K_{3\Phi}/2\Phi = 2/3$. Paralelno sa indirektnim vektorskim upravljanjem koje se koristi za regulaciju momenta i fluksa motora, izvršava se i algoritam za ocenu fluksa, brzine i momenta, kakav bi se inače koristio kod direktnog vektorskog upravljanja.

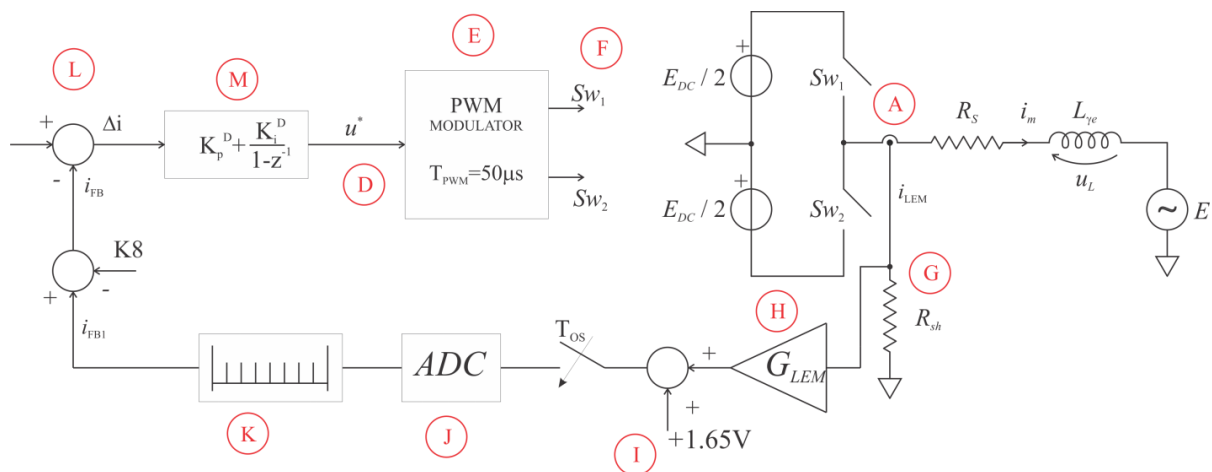
- Odrediti amplitudu rotorskog fluksa i moment koji motor razvija.
- Odrediti veličine koje se dobijaju iz algoritma za ocenu fluksa, brzine i momenta ako on operiše sa podacima $R_s^* = R_r^* = 1,2\ \Omega$.

13. Neka algoritam iz prethodnog zadatka za ocenu fluksa, brzine i momenta radi sa podacima $R_s^* = R_r^* = 1\Omega$. TTI radi sa $f_{PWM} = 10\text{kHz}$. Mrtvo vreme iznosi $5\mu\text{s}$. Odrediti veličine koje se dobijaju iz algoritma za ocenu fluksa, brzine i momenta, uvažavajući pri tome okolnost da se statorski naponi ne mere već se ocenjuju na osnovu modulacionih signala.

14. Na slici 1 prikazana je petlja strujne regulacije. Napon koji se dovodi na namotaj motora $u_m(t)$ jednak je $E/2=250\text{V}$ (SW1-on, SW2-off) ili $-E/2=-250\text{V}$ (SW2-on, SW1-off). Parametri motora su $L=10\text{mH}$ i $R=1\Omega$.

Davač struje sa Hall-ovim elementom (A) na sekundarnoj strani daje $i_{LEM} = i_m/1000$. Struja i_{LEM} se dovodi na šant R_{sh} . Pojačanje lem senzora (operacioni pojačavač (H) i kolo za dodavanje ofseta (I) treba da obezbede promenu signala na ulazu u ADC (J) u opsegu $0...3,3\text{V}$ u slučaju kada se struja motora menja u opsegu $-30\text{A}...+30\text{A}$. ADC uzima po jedan odbirak struje svakih $T_{os}=50\mu\text{s}/8$ tako da u svakom periodu $T_{od} = 50\mu\text{s}$ postoji 8 odbiraka. Po isteku svakog perioda T_{od} blok za oversampling (K) sabira sve odbirke i daje signal i_{FB1} . Frekvencija PWM-a je 10kHz . Poznato je da ADC na izlazu daje brojeve u opsegu od 0 do $2^{10}-1$, odnosno ADC je 10-bitni. Diskriminator greške (L) određuje razliku Δi između reference struje i^* i signala i_{FB} . Digitalni regulator struje (M) ima proporcionalno i integralno dejstvo. Programaska implementacija je takva da se :

- Greška u struji Δi predstavlja u 16-bitnom formatu, kao označeni, ceo broj izračunat kao $\Delta i = i^* - i_{FB}$.
- Odrede se proizvodi ($K_{P_{sw}} * \Delta i$) i ($K_{I_{sw}} * \Delta i$) kao 32-bitni brojevi, gde su $K_{P_{sw}}$ i $K_{I_{sw}}$ interne vrednosti pojačanja koje su u vezi sa K_{I^D} i K_{P^D} regulatora M.
- Izlaz regulatora se prvo odredi kao 32-bitna varijabla OUT32, i to tako što se saberu svi prethodni proizvodi $K_{I_{sw}} * \Delta i$, izračunati tokom prethodnih perioda odabiranja, i na takav zbir se dodaju dva novoizračunata proizvoda
- Promenljiva u^* (D) dobija se tako što se formira 16-bitna varijabla iz gornjih 16 bita varijable OUT32. Promenljiva u^* (D) kreće se u opsegu $-7FFF...+7FFF$. Ovoj promeni odgovara promena širine impulsa t_{on}^{sw1} od $0...50\mu\text{s}$.



Slika 1

- Kolike su vrednosti R_{sh} i G_L ako se traži da svi signali na šant otporniku budu ograničeni na opseg $-6\text{V}...+6\text{V}$?
- Odrediti promenu broja i_{FB1} u funkciji struje motora.
- Odrediti broj $K8 = i_{FB1} - i_{FB}$ tako da vrednosti reference $i^* = 0$ odgovara struji motora $i = 0$.

- d) Odrediti vezu između varijabli $KI_{sw}-KI^D$ i $KP_{sw}-KP^D$.
- e) Odrediti vezu između pojačanja KI^D i pojačanja KI^A ekvivalentnog regulatora koji bi bio implementiran u analognom domenu.
- f) Koliku vrednost treba da uzme u^* da bi na motoru postojao napon od +100 V?
- g) Za $u^*=0$ i $i_m^{avg}=0$ odrediti valovitost struje.
- h) Smatrajući da se rad regulatora može ekvivalentirati analognim KP^A+KI^A/s , odrediti pojačanja KI_{sw} i KP_{sw} tako da se dobije odziv sa propusnim opsegom ω_{BW} i prigušenjem $\xi=1$.
- i) Pretpostaviti da se postupci i procesi uzimanja srednje vrednosti odbiraka, računanja relacija regulatora, zadavanje vremena t_{on} i upisa u PWM registra obavljaju bez kašnjenja. Odrediti pojačanja KP^D i KI^D (na osnovu proračuna sprovedenog u Z domenu) tako da se dobije odziv sa propusnim opsegom ω_{BW} i sa prigušenjem ξ (ω_{BW} i ξ se određuju približno na osnovu para dominantnih polova u Z domenu).