

Treća vežba

Eksperimentalna analiza rada regulisanog elektromotornog pogona sa jednosmernim motorom

Uvod

Cilj vežbe je da se pomoću laboratorijskog modela regulisanog pogona sa jednosmernim nezavisno pobuđenim motorom prouči ponašanje ovoga pogona u različitim režimima. Vežba se izvodi na regulisanom četvoro-kvadrantnom pogonu sa nezavisno pobuđenim motorom jednosmerne struje, koji se napaja i upravlja iz savremenog industrijskog regulisanog ispravljača. Korišćeni ispravljač ima dva trofazna antiparalelno vezana punoupravljiva tiristorska mosta za napajanje kola indukta, i trofazni punoupravljivi tiristorski most za napajanje pobude jednosmernog motora. Upravljački sistem regulisanog ispravljača obezbeđuje:

- Regulaciju struje indukta
- Regulaciju momenta motora
- Regulaciju brzine sa korišćenjem povratne sprege sa davača na vratilu motora
- Regulaciju brzine bez davača na vratilu motora (po estimiranoj brzini)
- Regulaciju brzine u proširenom opsegu brzine (rad sa slabljenjem polja)
- Blokove za ograničenje i prilagođenje zadatih vrednosti brzine, momenta i struje
- Zaštitne funkcije: zaštitu motora od preopterećenja, prekostrujnu, podnaponsku i prenaponsku zaštitu, zaštitu od prevelike brzine pogona, zaštitu od pregrevanja motora i pretvarača, zaštitu od rada motora bez pobude i druge.
- Upravljački displej sa kojeg je moguće parametriranje pretvarača i pogona, praćenje pogonskih veličina, kao i puštanje u rad u lokalnom režimu upravljanja.
- Povezivanje sa nadređenim nivoom upravljanja preko analognih i digitalnih ulaza i izlaza.
- Napredne upravljačke funkcije (upravljanje mehaničkom kočnicom pogona, pozicioniranje, ograničena PLC funkcionalnost)
- Komunikacija sa računarom za podešavanje parametara i praćenje rada pogona (koristi se specijalizovan softver, koji je na raspolaganju u Laboratoriji za elektromotorne pogone)
- Integracija u složene sisteme upravljanja i nadzora korišćenjem standardnih industrijskih komunikacionih protokola.

Kompletan opis upravljačkog algoritma pretvarača, sa opisom svih parametara dostupan je kao PDF fajl na sajtu Laboratorije za elektromotorne pogone, kao i na sajtu proizvođača (www.abb.com). Za izvođenje vežbe koristiće se namenski softver DriveWindow, koji omogućuje brzu komunikaciju računara sa pretvaračem. U softveru se mogu podešavati svi parametri pretvarača i mogu se pratiti veličine od interesa u formi vremenskih dijagrama. Uputstvo za korišćenje softvera DriveWindow može se naći na Internet prezentaciji Laboratorije za elektromotorne pogone kao i na sajtu kompanije ABB. Prikaz mogućnosti softvera DriveWindow na srpskom jeziku dostupan je na Internet prezentaciji Laboratorije. Najznačajniji delovi uputstva za upotrebu pretvarača, upravljački blok dijagram pogona i uputstvo za korišćenje lokalnog upravljačkog panela se takođe mogu preuzeti sa sajta Laboratorije.

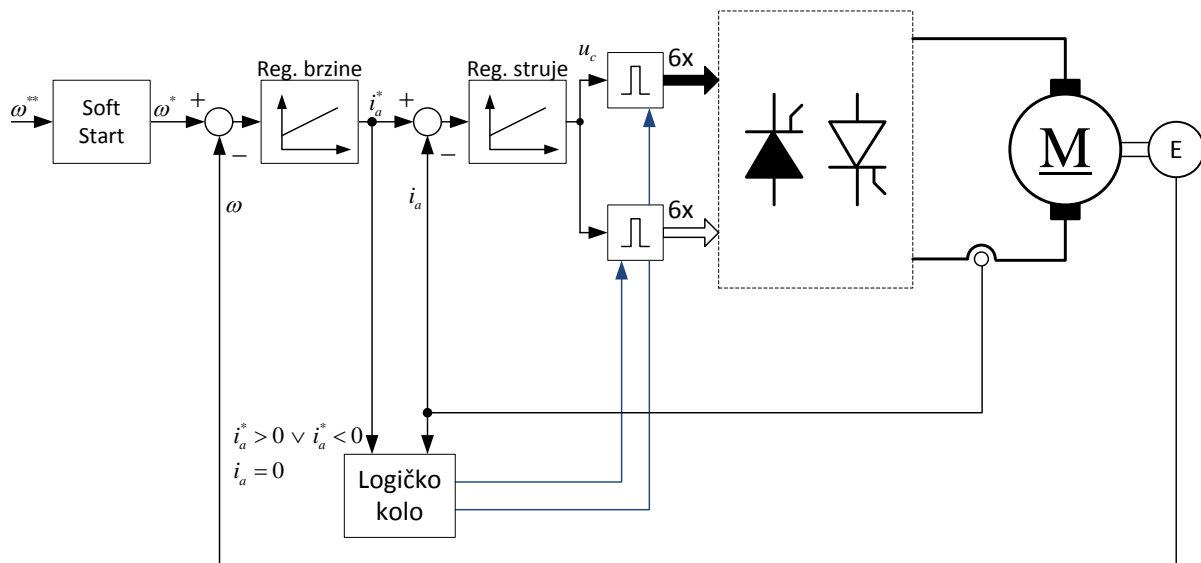
Šema veza laboratorijske postavke se može preuzeti sa Internet prezentacije Laboratorije za elektromotorne pogone.

Zadatak

U okviru vežbe, potrebno je sprovesti analizu rada regulisanog pogona sa jednosmernim motorom koji se napaja i upravlja iz savremenog industrijskog regulisanog ispravljača. U upravljačkom algoritmu pretvarača implementirano je:

1. Regulacija struje
2. Regulacija brzine (koristi se povratna sprega sa davača na vratilu – enkodera).
3. Slabljenje polja sa regulacijom elektromotorne sile

Korišćeni pretvarač ima dva antiparalelno vezana tiristorska mosta za napajanje kola indukta jednosmernog motora. Određivanje aktivnog mosta vrši se na bazi signala zadate struje, a promena aktivnog mosta je moguća samo kada je struja indukta nula (razdeljeno upravljanje). Komandni napon, odnosno ugao paljenja tiristorskog mosta određuje regulator struje. Regulator brzine je nadređen regulatoru struje, ima PID strukturu (koristi se PI) i ograničenje zadate struje. Principijelni blok dijagram regulisanog ispravljača sa razdeljenim upravljanjem, prikazan je na Sl. 1.



Sl. 1. Blok dijagram elektromotornog pogona sa jednosmernim motorom sa razdeljenim upravljanjem.

1) Unošenje osnovnih podataka o pogonu

Uneti podatke o elektromotornom pogonu (motoru i ispravljaču). Koristiti lokalni operatorski panel.

2) Adaptacija parametara

Izvršiti adaptaciju parametara pretvarača („upoznavanje“ upravljačkog sistema pretvarača sa povezanim motorom).

Adaptacija parametara se može vršiti na dva načina: korišćenjem panela pretvarača ili specijalizovanog programa za podešavanje parametara i praćenje rada pogona DriveWindow. U oba slučaja, procedura se odvija tako što se prvo izvrši podešavanje regulatora pobudne struje, zatim regulatora struje indukta i na kraju regulatora brzine. U prvom delu vežbe (tačke 3 – 6) ne koristi se režim slabljenja polja. U drugom delu vežbe (tačka 7) pogon se koristi u proširenom opsegu brzine, odnosno u režimu regulacije elektromotorne sile (slabljenje polja).

3) Parametri soft-starta pogona sa regulacijom brzine

Podesiti ili proveriti parametre soft-starta, limita zadate i ostvarene brzine, limita momenta, limita struje indukta. Da li postoji filter u povratnoj sprezi po brzini? Koje su vrednosti parametara soft starta? Kako promena vrednosti parametara soft-starta utiče na prelazni proces nakon promene zadate brzine? Da li se parametri soft starta mogu podesiti tako da dobijemo različito trajanje ubrzanja i usporenja? Kako se može uticati na smanjenje izvoda ubrzanja pogona (trzaj)?

4) Rad u režimu brzinske regulacije

Pustiti motor u režimu brzinske regulacije sa povratnom spregom preko davača na vratilu motora (enkodera). Zadati referentnu brzinu 300 o/min, 750 o/min, 1300 o/min, 1430 o/min ili ($\approx 0,2$; $\approx 0,5$; $\approx 0,9$; $1,0$) $\cdot n_n$. Posmatrati promene na vremenskim dijagramima: $m_e(t)$, $m_e^*(t)$, $i_a(t)$, $u_a(t)$, $n(t)$ i $n^*(t)$.

5) Revers pogona

Uraditi revers, promenu smera obrtanja motora, zadavanjem promene referentne brzine sa +750 o/min na -750 o/min. Posmatrati $m_e(t)$, $m_e^*(t)$, $i_a(t)$, $u_a(t)$, $n(t)$ i ugao paljenja tiristorskog mosta $\alpha(t)$. Uočiti promenu struje indukta i ugla paljenja u okolini promene aktivnog tiristorskog mosta.

6) Opterećivanje motora

Korišćenjem asinhronog motora koji se napaja iz frekventnog pretvarača i radi u režimu regulacije momenta izvršiti opterećivanje motora. Opterećenje izvršiti nakon procesa zaletanja, sa referentnom brzinom $0,75 \cdot n_n$. Posmatrati promene na vremenskim dijagramima: $m_e(t)$, $m_e^*(t)$, $i_a(t)$, $u_a(t)$, $n(t)$ i $\alpha(t)$. Da li postoji greška brzine u ustaljenom stanju? Šta se može zaključiti o prelaznom procesu na osnovu vremenskih dijagrama brzine i momenta motora, odnosno struje indukta?

7) Rad u proširenom opsegu brzina (rad sa slabljenjem polja)

Podesiti upravljački sistem ispravljača tako da može da radi u proširenom opsegu brzina. Koja je vrednost zadate elektromotorne sile? Kako je ona određena? Da li se vrednost zadate elektromotorne sile može menjati?

Ponoviti zadatke 4, 5 i 6, ali na brzini iznad nominalne 1700 o/min ($\approx 1,2 \cdot n_n$). Pored veličina koje smo pratili u prethodnim zadacima, dodati i vrednost elektromotorne sile koja se izračunava u upravljačkom sistemu pretvarača i merenu struju pobude motora (vremenski dijagram $m_e(t)$, $i_a(t)$, $u_a(t)$, $n(t)$, izračunate elektromotorne sile $e(t)$ i pobudne struje $i_j(t)$).

Uočiti sličnosti i razlike u ponašanju pogona. Da li je odziv regulatora brzine prilikom opterećivanja isti u slučaju rada u osnovnom opsegu brzine i u proširenom. Zašto?

Priprema za vežbu

Ponoviti gradivo koje se tiče pogona sa jednosmernim motorom i aktuatora za pogone sa jednosmernim motorima. Proučiti ovo uputstvo za vežbu i dokumente sa opisom upravljačkog sistema ispravljača. Posebno obratiti pažnju na dokument sa opisom lokalnog upravljačkog panela pretvarača, upravljačke blok dijagrame i na dokument sa prikazom mogućnosti softvera DriveWindow. Uputstvo za upotrebu pretvarača i upravljački blok dijagrami će biti na raspolaganju u Laboratoriji tokom izvođenja vežbe.

Postupak

U nastavku su sažeto navedena uputstva za izvođenje laboratorijske vežbe. Svi parametri pretvarača imaju jedinstvene brojne oznake. Parametri su podeljeni u grupe, u svakoj grupi može biti različit broj parametara. Oznaka PGG.NN označava da je potrebno podesiti ili proveriti vrednost parametra (P) pretvarača iz grupe sa brojnom oznakom GG, pod rednim brojem NN. Predviđeno je da studenti izvode vežbu samostalno, uz prisustvo i povremenu pomoć dežurnog u Laboratoriji.

1) Unošenje osnovnih podataka o pogonu (korišćenja operatorskog panela)

Korišćenjem operatorskog panela pretvarača uneti podatke o motoru. Koristiti podatke sa nazivne pločice motora

Nazivni napon (indukta) motora [V]	P99.02 =	230 V
Nazivni struja (indukta) motora [A]	P99.03 =	26 A

Nazivna brzina motora [o/min]	P99.04 =	1430 o/min
Napon napajanja pretvarača [V]	P99.10 =	400V
Nazivna struja pobude motora [A]	P99.11	0,42A

2) Adaptacija parametara (korišćenje vodiča „Start-up assistants“)

Izvršiti adaptaciju parametara pretvarača („upoznavanje“ upravljačkog sistema pretvarača sa povezanim motorom). Koristiti program DriveWindow. Odmah po startovanju programa, uspostaviti komunikaciju sa pretvaračem.

Podešavanje regulatora pobudne struje

1. Učitati podešavanja radnog okruženja „03 DCS800 Autotuning field current controller.dww“. Preuzeti mesto upravljanja pretvaračem u lokalno upravljanje sa računara.
2. Uneti osnovne parametre regulatora pobude:

Način upravljanja pobudom	P44.01	0 (Fix)
Tip pobudnog ispravljača	P99.12	1 (OnBoard)

3. Započeti postupak određivanja parametara:
ServiceMode (99.06) = FieldCurAuto i uključenje(taster ON).
4. Tokom postupka određivanja parametara uključice se kontaktor ispred pretvarača, pretvarač će postepeno povećavati pobudnu struju do nominalne vrednosti i podesice parametre regulatora pobudne struje. Pretvarač neće dozvoliti rad ispravljača u kolu indukta, tako da se motor neće pokrenuti.
5. Kada se postupak završi kontaktor se isključuje. Zabeležite vrednosti parametara.

Proporcionalno pojačanje regulatora struje pobude	P44.02 =	
Vremenska konstanta integratora regulatora struje pobude [ms]	P44.03 =	
Maksimalni napon pobude [%]	P45.02 =	

Podešavanje regulatora struje indukta

1. Učitati podešavanja radnog okruženja „04 DCS800 Autotuning armature current controller.dww“.
2. Uneti osnovne parametre regulatora struje indukta

Maksimalni moment motora [%]	P20.05	
Minimalni (maks. negativni) moment motora [%]	P20.06	
Maksimalnu struju mosta 1 (za pozitivnu struju) [%]	P20.12	
Maksimalnu struju mosta 2 (za negativnu struju) [%]	P20.13	

3. Započeti postupak određivanja parametara:
ServiceMode (99.06) = ArmCurAuto i uključenje(taster ON).
4. Tokom postupka određivanja parametara uključice se kontaktor ispred pretvarača, pretvarač će impulsno zadavati struju indukta i podesice parametre regulatora struje indukta. Pretvarač neće dozvoliti rad ispravljača u kolu pobude, tako da se motor neće pokrenuti, ali ukoliko u motoru

postoji remanentno polje, može doći do pokretanja motora. U tom slučaju, da bi se parametri regulatora struje pravilno odredili, rotor treba ukočiti.

5. Kada se postupak završi, zabeležite vrednosti parametara

Proporcionalno pojačanje regulatora struje indukta	P43.06 =	
Vremenska konstanta regulatora struje indukta [ms]	P43.07 =	
Granica prekidnog režima struje [%]	P43.08 =	
Induktivnost kola indukta [mH]	P43.09 =	
Otpornost kola indukta [Ω]	P43.10 =	

Podešavanje signala povratne veze po brzini

- Učitati podešavanja radnog okruženja „05 DCS800 Speed feedback assistant.dww“.
- Uneti ili proveriti osnovne parametre povratne veze po brzini

Minimalna (maks. negativna) zadata brzina [o/min]	P20.01	-1430 o/min
Maksimalna zadata brzina [o/min]	P20.02	1430 o/min
Maksimalna vrednost merene brzine [o/min] Ukoliko se unese 0, koristi se vrednost P20.02.	P50.01	0
Korišćeni signali sa enkodera	P50.02	3 (A+/-/B+/-)
Signal povratne veze po brzini	P50.03	1 (Encoder)
Broj impulsa po obrtaju enkodera [impulsa/o]	P50.04	4096

- Započeti postupak podešavanja (provere) signala povratne veze po brzini
ServiceMode (99.06) = SpdFbAssist i uključenje(taster ON).
- Tokom postupka određivanja parametara uključice se kontaktor ispred pretvarača, pogon će ubrzati do nominalne brzine. U toku provere signala povratne veze po brzini, pretvarač koristi internu povratnu vezu po elektromotornoj sili (bez korišćenja davača, *sensorless*). Nakon uspešno završene procedure, koristi se povratna veza po merenoj brzini.

Podešavanje regulatora brzine

- Učitati podešavanja radnog okruženja „04 DCS800 Autotuning speed controller.dww“.
- Uneti (proveriti) osnovne parametre regulatora brzine

Minimalnu (maks. negativnu) brzinu motora [o/min]	P20.01	
Maksimalnu brzinu motora [o/min]	P20.02	
Maksimalni moment motora [%]	P20.05	
Minimalni (maks. negativni) moment motora [%]	P20.06	
Maksimalnu struju mosta 1 (za pozitivnu struju) [%]	P20.12	
Maksimalnu struju mosta 2 (za negativnu struju) [%]	P20.13	
Filter signala greške brzine [ms]	P23.11	0 (ne koristi se)
Filter signala merene brzine [ms]	P50.06	

- Započeti postupak određivanja parametara:

ServiceMode (99.06) = SpdCtrlAuto i uključenje(taster ON).

4. Tokom postupka određivanja parametara uključice se kontaktor ispred pretvarača, pretvarač će isključiti soft start brzine i impulsno će zadavati maksimalnu struju indukta do dostizanja nominalne brzine motora.
5. Kada se postupak završi, zabeležite vrednosti parametara

Proporcionalno pojačanje regulatora brzine	P24.03 =	
Vremenska konstanta integratora regulatora brzine [ms]	P24.09 =	

3) Parametri soft-starta pogona sa regulacijom brzine

Podesiti parametre soft-starta zadate brzine pogona.

Trajanje ubrzanja [s] Parametar definiše trajanje ubrzanja od brzine 0 do maksimalne merene brzine motora P50.01 (3000o/min)	P22.01 =	
Trajanje usporenja [s]	P22.02 =	
Vremenska konstanta filtera zadate brzine [s]	P22.05	

4) Rad u režimu brzinske regulacije

Pustiti motor u režimu brzinske regulacije sa povratnom spregom sa davača na vratilu motora (enkodera). Zadati referentnu brzinu 300 o/min, 750 o/min, 1300 o/min i 1430 o/min ($\approx 0,2$; $\approx 0,5$; $\approx 0,9$; $1,0$) $\cdot n_n$. Posmatrati promene na vremenskim dijagramima: $m_e(t)$, $m_e^*(t)$, $i_a(t)$, $u_a(t)$, $n(t)$, i $n^*(t)$. Snimiti vremenske dijagrame kao numeričke podatke.

$m_e(t)$ [%]	P01.08
$m_e^*(t)$ [%]	P02.13
$i_a(t)$ [%]	P01.06
$u_a(t)$ [%]	P01.13
$n(t)$ [o/min]	P01.04
$n^*(t)$ [o/min]	P02.02

5) Revers pogona

Uraditi revers, promenu smera obrtanja motora, zadavanjem promene referentne brzine sa 750 o/min na -750 o/min ($\approx 0,5 \cdot n_n$ na $\approx -0,5 \cdot n_n$). Posmatrati $m_e(t)$, $m_e^*(t)$, $i_a(t)$, $u_a(t)$, $n(t)$ i ugao paljenja tiristorskog mosta $\alpha(t)$. Uočiti promenu struje indukta i ugla paljenja u okolini promene aktivnog tiristorskog mosta.

Snimiti vremenske dijagrame kao numeričke podatke.

$m_e(t)$ [%]	P01.08
$m_e^*(t)$ [%]	P02.13
$i_a(t)$ [%]	P01.06
$u_a(t)$ [%]	P01.13

$n(t)$ [o/min]	P01.04
$\alpha(t)$ [°]	P03.13

6) Opterećivanje motora

Uz pomoć dežurnog u Laboratoriji, korišćenjem asinhronog motora koji se napaja iz frekventnog pretvarača i radi u režimu regulacije momenta (DTC) izvršiti opterećivanje motora. Opterećenje izvršiti nakon procesa zaletanja, sa referentnom brzinom $0,75 \cdot n_n$. Posmatrati promene na vremenskom dijagramu: $m_e(t)$, $m_e^*(t)$, $i_a(t)$, $u_a(t)$, $n(t)$ i $\alpha(t)$. Snimiti vremenske dijagrame kao numeričke podatke.

$m_e(t)$ [%]	P01.08
$m_e^*(t)$ [%]	P02.13
$i_a(t)$ [%]	P01.06
$u_a(t)$ [%]	P01.13
$n(t)$ [o/min]	P01.04
$\alpha(t)$ [°]	P03.13

7) Rad u proširenom opsegu brzina (rad sa slabljenjem polja)

Podesiti upravljački sistem ispravljača tako da može da radi u proširenom opsegu brzina.

Podešavanje regulatora brzine

1. Učitati podešavanja radnog okruženja „07 DCS800 Field weakening assistant.dww“.
2. Uneti (proveriti) osnovne parametre za slabljenja polja

Minimalnu (maks. negativnu) brzinu motora [o/min]	P20.01	-2000 o/min
Maksimalnu brzinu motora [o/min]	P20.02	2000 o/min
Minimalna struja pobude [%]	P30.12	50%
Način upravljanja pobudom	P44.01	1 = EMF
Proveriti:		
Nazivni napon (indukta) motora [V]	P99.02 =	
Nazivna brzina motora [o/min]	P99.04 =	
Nazivna struja pobude motora [A]	P99.11	

3. Započeti postupak određivanja parametara:
ServiceMode (99.06) = EMF FluxAuto i uključenje(taster ON).
4. Tokom postupka određivanja parametara uključice se kontaktor ispred pretvarača, pogon će ubrzati do nominalne brzine.
5. Kada se postupak završi, zabeležite vrednosti parametara

Proporcionalno pojačanje regulatora EMS	P44.09 =	
Vremenska konstanta regulatora EMS [ms]	P44.10 =	
Struja pobude za 40% pobudnog fluksa [%]	P44.12 =	

Struja pobude za 70% pobudnog fluksa [%]	P44.13 =	
Struja pobude za 90% pobudnog fluksa [%]	P44.14 =	

Koja je vrednost zadate elektromotorne sile (P03.26)? Kako je ona određena? Da li se vrednost zadate elektromotorne sile može menjati?

Ponoviti zadatke 4, 5 i 6, ali sa zatom brzinom iznad nominalne ($1,2 \cdot n_n$). Posmatrati promene na vremenskom dijagramu: $m_e(t)$, $i_a(t)$, $u_a(t)$, $n(t)$, izračunate elektromotorne sile $e(t)$ i pobudne struje $i_f(t)$. Snimiti vremenske dijagrame kao numeričke podatke.

$m_e(t)$ [%]	P01.08
$i_a(t)$ [%]	P01.06
$u_a(t)$ [%]	P01.13
$n(t)$ [o/min]	P01.04
$e(t)$ [%]	P01.17
$i_f(t)$ [%]	P01.29

Izveštaj

Izveštaj treba da sadrži odgovore na pitanja postavljena u zadatku vežbe i zaključke izvedenih analiza. Karakteristične vremenske zavisnosti koje su snimljene u toku vežbe, dati na preglednim dijagramima sa odgovarajućim komentarima.