

MIHA THE MIGHTY 1.D_AUT	FAKULTET ELEKTROTEHNIKE I RAČUNARSTVA ZAGREB	30.12.2012.
	LABORATORIJ AUTOMATIKE 1	
	Vježba br. III: VEKTORSKO UPRAVLJANJE ASINKRONIM STROJEM	

Opis vježbe

Elektromotorni pogon, dan na vježbi, se sastoji od dva asinkrona stroja, a svaki od njih je upravljan industrijskim frekvencijskim pretvaračem Sinamics S120. Strojevi su međusobno spojeni krutom vezom. U sklopu laboratorijske vježbe parametriraju se frekvencijski pretvarači Sinamics S120, pri čemu jedan stroj predstavlja glavni stroj, a drugi stroj predstavlja opteretni stroj. Dakle, prvi pretvarač regulira brzinu vrtnje stroja uporabom mjernog člana brzine vrtnje, a drugi pretvarač radi u režimu regulacije momenta asinkronog stroja

Već spomenuti frekvencijski pretvarači parametriraju s uporabom programskog okruženja *Starter* na računalu. Komunikacija između računala i frekvencijskog pretvarača ostvaruje se putem *Profibus* standarda. Parametri glavnog stroja podešavaju se za upravljanje asinkronim strojem uporabom mjernog člana brzine vrtnje. Uspostavlja se komunikacija te se podešeni parametri spuštaju u pretvarač. Opteretni stroj parametrira se na jednak način, pri čemu se dodatno postavlja ograničenje maksimalnog i minimalnog momenta na $\pm 3 [Nm]$, čime se omogućuje upravljanje momentom opteretnog stroja. Naime, u slučaju kad se pretvaračem upravlja s upravljačke ploče programskog paketa *Starter*, nije moguće zadavati referentnu vrijednost momenta s računala. Upravljanje momentom moguće je na način da pretvarač radi u režimu regulacije brzine te se u *Starteru* podese ograničenja momenta. Stoga, kad se na upravljačkoj ploči postavi referentna vrijednosti brzine, opteretni stroj kreće prema zadanoj brzini, sve dok ne dostigne zadano ograničenje momenta. Kada dostigne ograničenje momenta, stroj će se okretati brzinom pogonskog stroja koji će biti opterećen momentom opteretnog stroja. Jasno je kako će se brzina vrtnje opteretnog stroja razlikovati od njegove zadane brzine vrtnje. Iz tog je razloga potrebno deaktivirati zaštitnu funkciju za

detekciju odstupanja stvarne brzine vrtnje od zadane, koja bi nakon određenog vremena trajanja razlike brzina zaustavila stroj i dojavila grešku.

Popis opreme

Opremu laboratorijske vježbe čine dva asinkrona motora spojena pomoću spojke, tj. krute veze, dva frekvencijska pretvarača kojima se upravlja asinkronim spomenutim strojevima, enkoder i računalo s programskim paketom *Starter* pomoću kojeg se paramteriraju frekvencijski pretvarači i podešava željeni tip upravljanja asinkronim strojevima.

Tablicom 1. dani podaci s natpisne pločice asinkronog motora.

Tablica 1. Natpisna pločica asinkronog motora

Proizvođač	Siemens, Germany	
Tip motora	3 ~	
Zaštita	IP55	
Tip izolacije	F	
Standard	EN/IEC 60034	
Serijski broj motora	1LA7090-4AA60-Z	
	$f_n = 50 \text{ Hz}$	$f_n = 60 \text{ Hz}$
Tip spoja	Δ/Y	Δ
$U_n [\text{V}]$	400/690	460
$I_n [\text{A}]$	2.55/1.47	1.5
$P_{2n} [\text{kW}]$	1.1	1.3
$\cos(\varphi_n)$	0.81	0.82
$n_n [\text{rpm}]$	1415	1715

Podaci s natpisne pločice frekvencijskih pretvarača nalaze se u Tablici .

Tablica 2. Natpisna pločica frekvencijskog pretvarača

SINAMICS Power Module 340		
Serijski broj	6SL3210-1SE13-1UA0	
Ulaz	$U [\text{V}]$	3~ 380 ... 480
	$I [\text{A}]$	3~ 3.8
	$f [\text{Hz}]$	47 ... 63
Izlaz	$U [\text{V}]$	3~ 0 ... U_{ul}
	$I [\text{A}]$	3~ 3.1
	$f [\text{Hz}]$	0 ... 650
$\max U_{DC}$	$1.35 \cdot U_{lin}$	

SINAMICS Control Unit CU310 PN		
Serijski broj	6SL 3040-0LA00-0AA1	
Napajanje	U [V]	DC 24
	I [A]	3.3
Digitalni izlazi	U [V]	DC 24
	I [A]	0.5
T_a [°C]	0 ... 50	

U laboratorijskoj vježbi korišten je *Sinamics S120* frekvencijski pretvarač koji se sastoji od dvije jedinice:

- energetske jedinice (*Sinamics Power Module 340*)
- upravljačke jedinice (*Sinamics Control Unit CU310 PN*).

Energetska jedinica sastoji se od trofaznog diodnog mosnog spoja, tj. ispravljača, izmjenjivača i istosmjernog međukruga.

Ulaz energetske jedinice spojen je na napon 3×400 VAC. Kako ne postoji mogućnost vraćanja energije u mrežu, dok je motor generatorskom režimu rada, energija se troši na kočnom otporniku.

Parametri za željeni način rada frekvencijskog pretvarača podešavaju se programskim paketom *Starter*, komunikacija između osobnog računala i upravljačke jedinice pretvarača ostvarena je pomoću *PROFIBUS DP* komunikacijskog protokola.

Kao mjerni član brzine vrtnje korišten je enkoder čiji su podatci dani Tablicom 3.

Tablica 2. Natpisna pločica enkodera

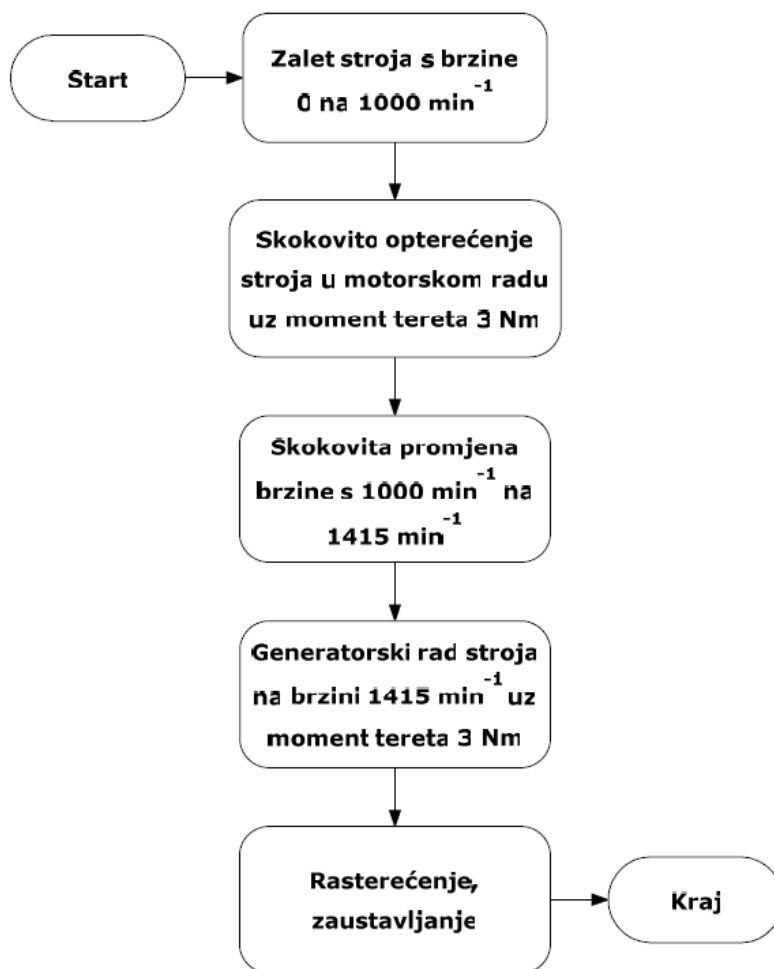
Enkoder 1xP8001-1/1024	
Proizvođač	Siemens, Germany
Tip enkodera	TTL signali
Rezolucija [imp/okr]	1024
Serijski broj enkodera	26 712 158 C

Odzivi vektorskog upravljanja

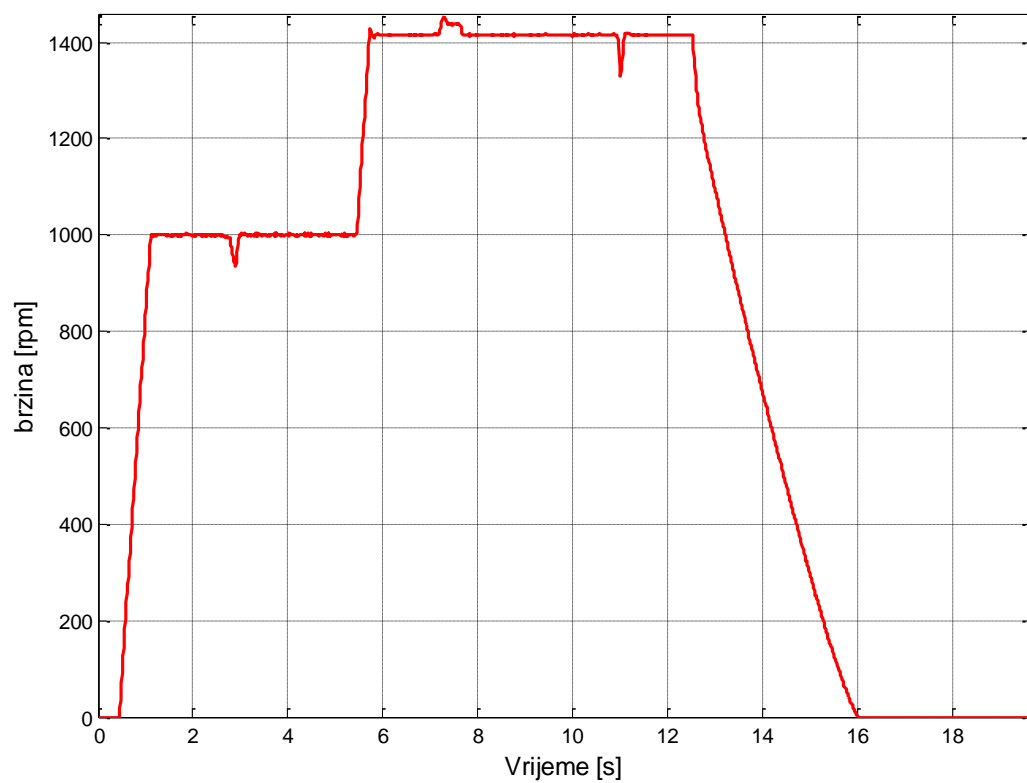
U programskom okruženju *Starter* su prema dijagramu toka na slici 1 snimljeni odzivi sljedećih veličina:

- brzina vrtnje stroja,
- moment stroja,
- struja i_{sd} ,
- struja i_{sq} ,
- napon istosmjernog međukruga.

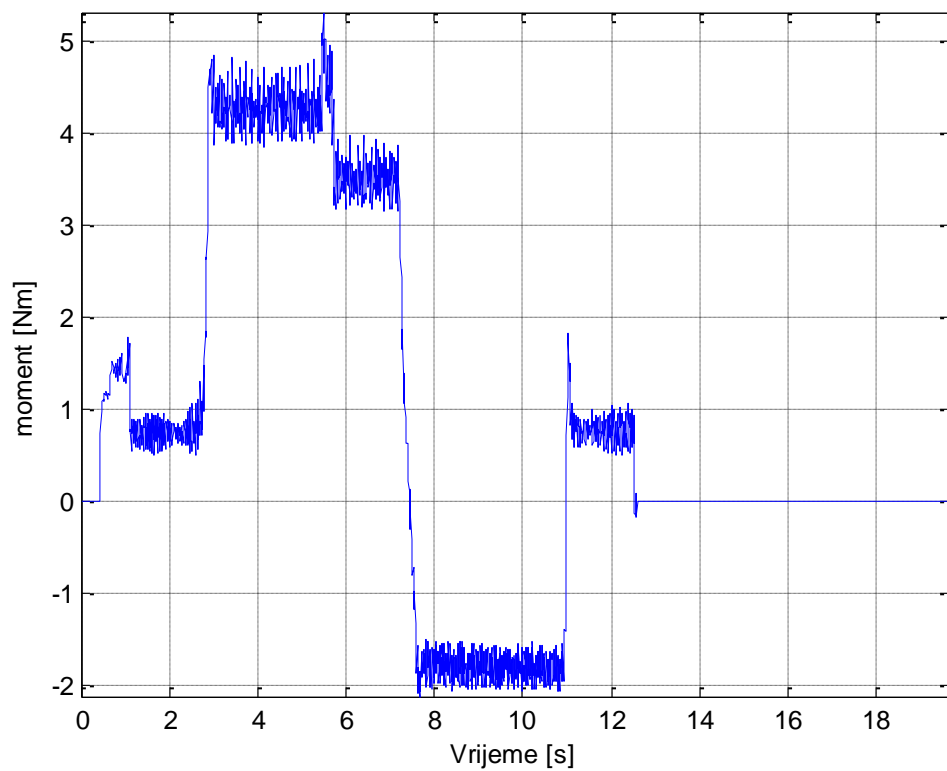
Na slici 1 prikazan je dijagram toka terećenja glavnog stroja pri vektorskom upravljanju, s označenim pripadnim vremenskim trenucima u kojima se promjene događaju. Slikama 2. do 6. prikazane su redom ranije navedene veličine.



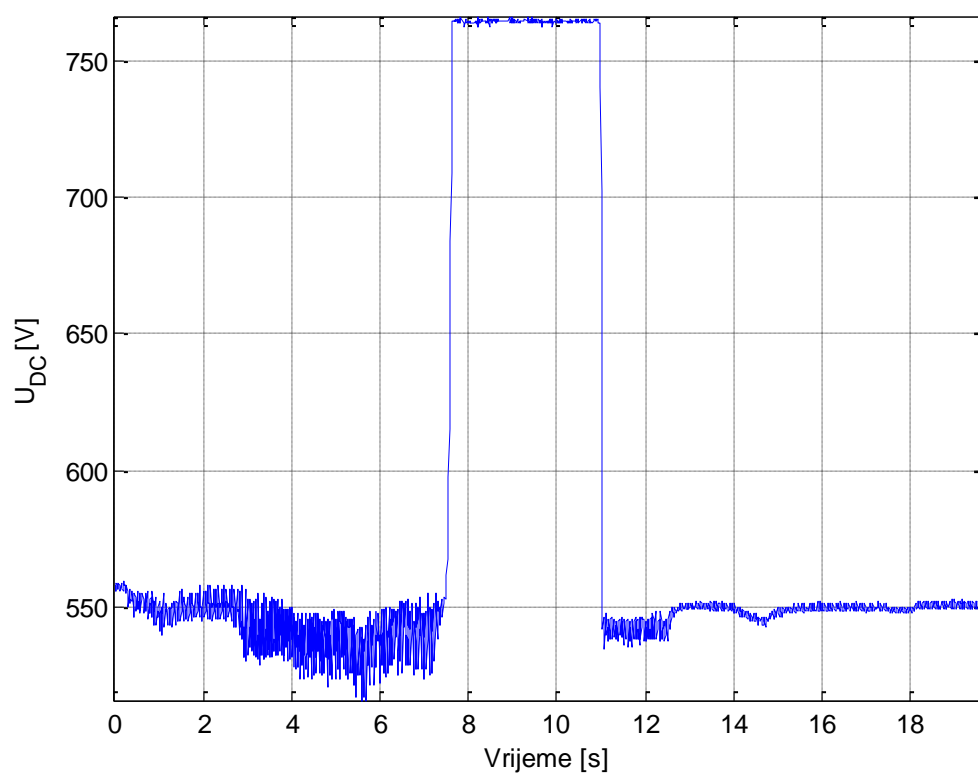
Slika 1. Dijagram toka oprerećenja glavnog stroja



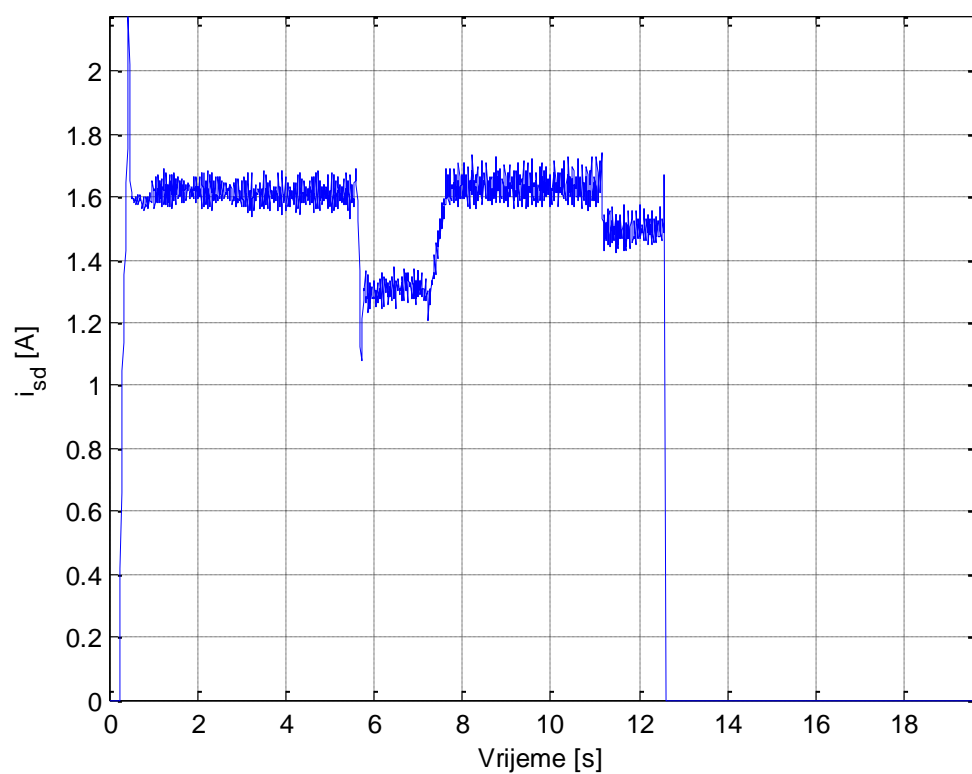
Slika 2. Odziv brzine vrtnje

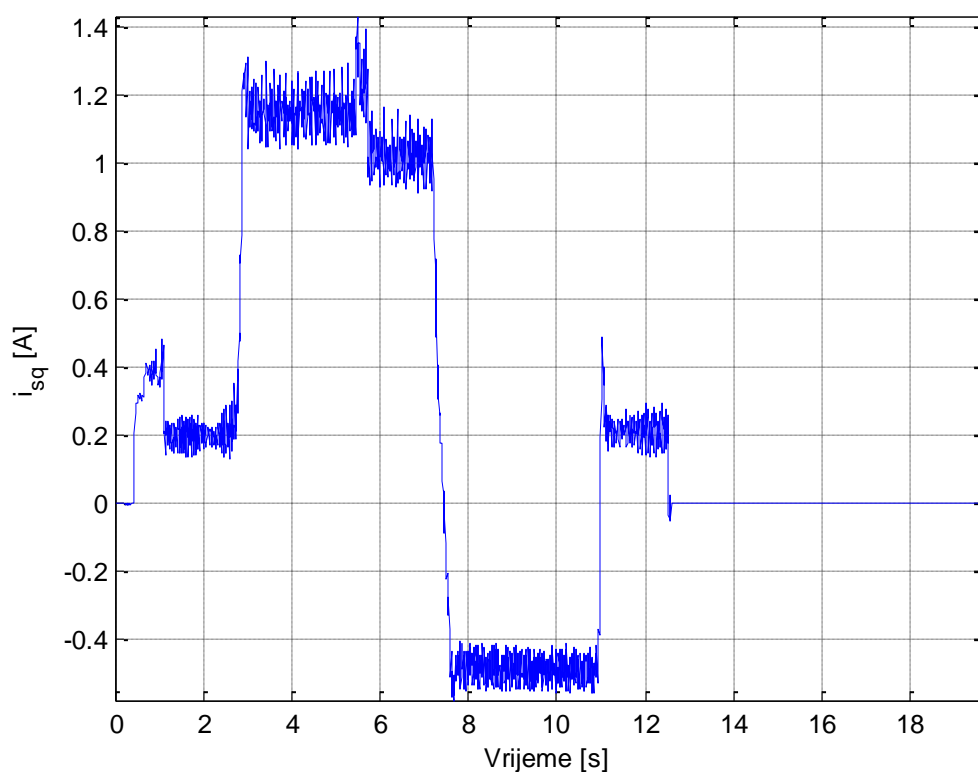


Slika 3. Odziv momenta pogonskog stroja



Slika 4. Odziv napona istosmjernog međukruga

Slika 5. Odziv struje i_{sd}

Slika 6. Odziv struje i_{sq}

Komentar odziva za vektorsko upravljanje

U skladu s regulacijom pogonskog stroja po brzini vrtnje te opterećenog stroja po momentu, brzina vrtnje pogonskog stroja prati zadanu referencu. Zadavanjem referentne brzine opterećenog stroja putem upravljačke ploče, u programskom okruženju *Starter*, mijenja se karakteristika momenta koju pogonski stroj razvija.

Budući da ni u jednom trenutku nije zadana referentna brzina pogonskog stroja veća od nazivne, prema strukturi vektorskog upravljanja, bilo je za očekivati da će se čitavo mjerenje odvijati u području konstantnog toka, tj. uz konstantu struju i_{sd} . Frekvencijski pretvarač se nije ponašao u skladu s očekivanjima, odnosno struja i_{sd} nije cijelo vrijeme istog iznosa. Drugim riječima, moment pogonskog stroja nije proporcionalan samo q -komponenti struje statora, i_{sq} , nego je proporcionalan umnošku struje magnetiziranja i_{mr} , koja preko PT1 člana određuje struju i_{sd} , i struje i_{sq} . Da je ostvareno željeno ponašanje elektromotornog pogona, odnosno standardno vektorsko upravljanje u području konstantnog toka, moment pogonskog stroja bio bi proporcionalan isključivo struji i_{sq} pa bi njihove karakteristike bile istog oblika.

U početnom vremenskom intervalu ($t \approx [0, 0.25]$ s) referentna brzina pogonskog stroja je jednaka nuli, odnosno iz grafa je vidljivo da su brzina i moment pogonskog stroja jednaki nuli.

Pri promjeni referentne brzine pogonskog stroja, sa 0 [rpm] na 1000 [rpm], kao posljedica razlike između stvarne i referentne brzine događa se nagli porast struje i_{sq} , a samim time i događa se porast momenta (nad u trenutku $t \approx 0.5$ [s]) koji ubrzava stroj do željene brzine. Odziv brzine ograničen je pri parametrizaciji postavljenom vremenskom rampom iznosa 1 [s]. U stacionarnom stanju moment pogonskog stroja poprima iznos potreban za savladavanje momenta trenja i ventilacije od približno 0.75 [Nm]. Napon istosmjernog međukruga pretvarača koji regulira brzinu vrtnje pogonskog stroja ima praktički konstantu srednju vrijednosti iznosa $U_{DC} \approx 545$ [V], uz male oscilacije amplitude.

Skokovito opterećenje pogonskog stroja u motorskom načinu rada dogodilo se u trenutku $t \approx 2.8$ [s], i to zadavanjem referentne brzine opterećenog stroja takve da on teži okretanju u suprotnu stranu od pogonskog, odnosno $n_{REF,opt} > -1000$ [rpm]. U tom slučaju opterećeni stroj povećava svoj moment zbog odstupanja stvarne brzine od zadane pa dolazi do kratkotrajnog propada brzine vrtnje. Moment pogonskog stroja raste kako bi savladao moment tereta, moment trenja i ventilacije, te tako održao brzinu vrtnje na željenih 1000 [rpm]. Da se vektorski upravlja uz konstantni tok, teoretski bi se pogonski moment ustalio na limitu momenta tereta uvećanom za moment trenja i ventilacije (cca 3.5 [Nm]), no u ovom slučaju se javljaju dodatna ograničenja zbog kojih opterećeni stroj ne razvije moment od zadanih 3 [Nm], nego nešto manje. Srednja vrijednost napona istosmjernog međukruga zadržava približno jednaku srednju vrijednost, $U_{DC} \approx 545$ [V], uz malo povećanje oscilacija amplitude.

U trenutku $t \approx 5.5$ [s] referenca brzine pogonskog stroja se skokovito mijenja s 1000 [rpm] na 1415 [rpm]. Moment pogonskog stroja naglo skače kako bi se na osovini razvio moment ubrzanja potreban za postizanje željene brzine (šiljak momentne karakteristike u trenutku $t \approx 5.6$ [s]). Odziv brzine kvalitativno je jednak odzivu pri zaletu. Kada stvarna brzina postane 1415 [rpm], moment se ustaljuje na malo nižoj vrijednosti, zbog manjeg momenta tereta pri ovoj brzini. Manji moment je posljedica postavljenog ograničenja snage opterećenog asinkronog motora. Srednja vrijednost napona istosmjernog međukruga i nakon povećanja brzine vrtnje ostaje približno jednaka.

Generatorski režim rada pogonskog stroja postiže se zadavanjem reference brzine opterećenog stroja na $n_{REF,opt} < -1415$ [rpm]. Opterećeni stroj u početku razvija moment u

smjeru momenta pogonskog stroja, što uzrokuje kratkotrajni pozitivni moment ubrzanja na osovini i kratkotrajni porast brzine iznad referentnih 1415 [rpm] u trenutku $t \approx 7.3[s]$. Moment pogonskog stroja tada mijenja predznak kako bi vratio brzinu na zadanih 1415 [rpm] te se ustaljuje na negativnoj srednjoj vrijednosti. Da je ostvareno upravljanje u području konstantnog toka, stacionarni iznos momenta u generatorskom režimu rada bio bi jednak ograničenju momenta opterećenog stroja umanjenom za moment trenja i ventilacije. No, zbog promjenjivog iznosa struje i_{sd} , moment u generatorskom režimu se ustaljuje na približno $-1.8 [Nm]$. Napon istosmjernog međukruga naglo raste, jer se kondenzator u međukrugu puni energijom koju generira opterećeni stroj. Kada napon poraste do granične vrijednosti $U_{DC} \approx 770 [V]$, uključuje se kočni otpornik na kojemu se dalje disipira energija.

Željeni efekt rasterećenja pogonskog stroja realiziran je tako da je u trenutku $t \approx 10.9 [s]$ maknuta kvačica s *Enables* na upravljačkoj ploči pretvarača koji upravlja opterećenim strojem. Takvim načinom gašenja opterećeni stroj je zaustavljen u najkraćem vremenu. Zbog rasterećenja pogonskog stroja, u početnom trenutku postojao negativni dinamički moment koji bi nakratko smanjio brzinu ispod 1415 [rpm]. Pogonski stroj bi zatim povećao svoj moment pokušavajući vratiti brzinu na 1415 [rpm] te bi se ustalio na vrijednosti potrebnoj za savladavanje momenta trenja. Napon istosmjernog međukruga naglo pada do $U_{DC} \approx 575 [V]$, jer se energija nakupljena u kondenzatoru troši na razvijanje pogonskog momenta potrebnog za održavanje brzine vrtnje.

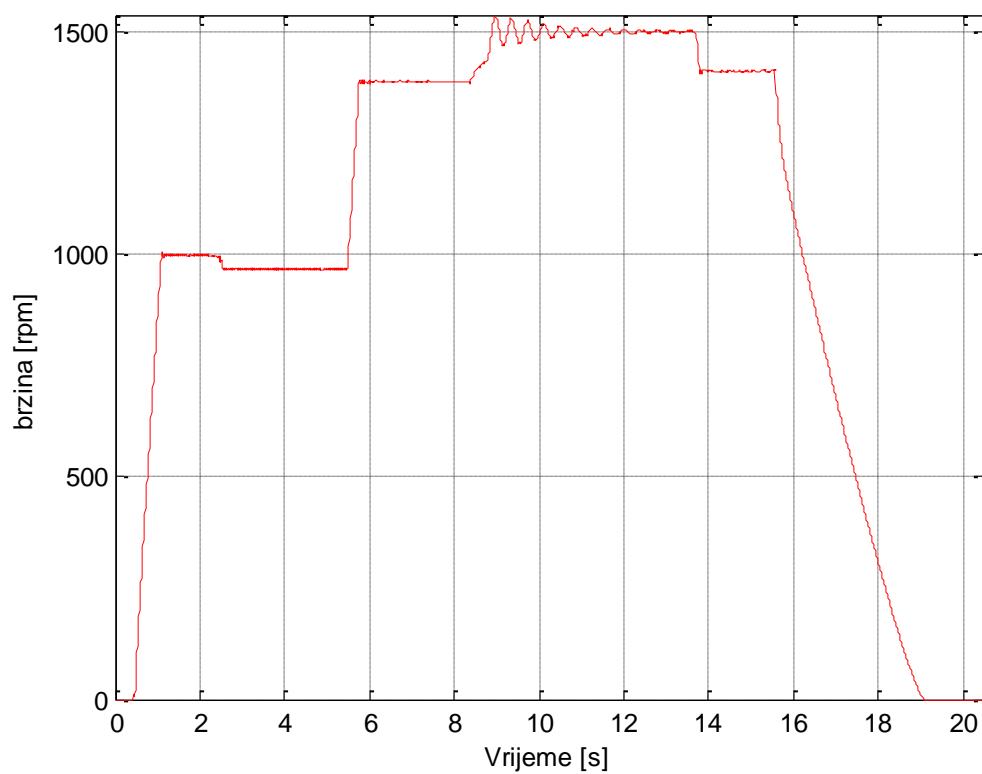
Zaustavljanje pogonskog stroja se obavlja postavljanjem referentne brzine na nulu u trenutku $t \approx 12.5 [s]$. Zbog vremenske rampe za zalet, stroj se zaustavlja tek u $t \approx 16 [s]$. Nakon dostizanja referentne brzine jednake nuli, moment se ustaljuje oko nule, kao i struje i_{sd} i i_{sq} , dok napon istosmjernog međukruga zadržava srednju vrijednost $U_{DC} \approx 575 [V]$.

Odzivi skalarnog upravljanja

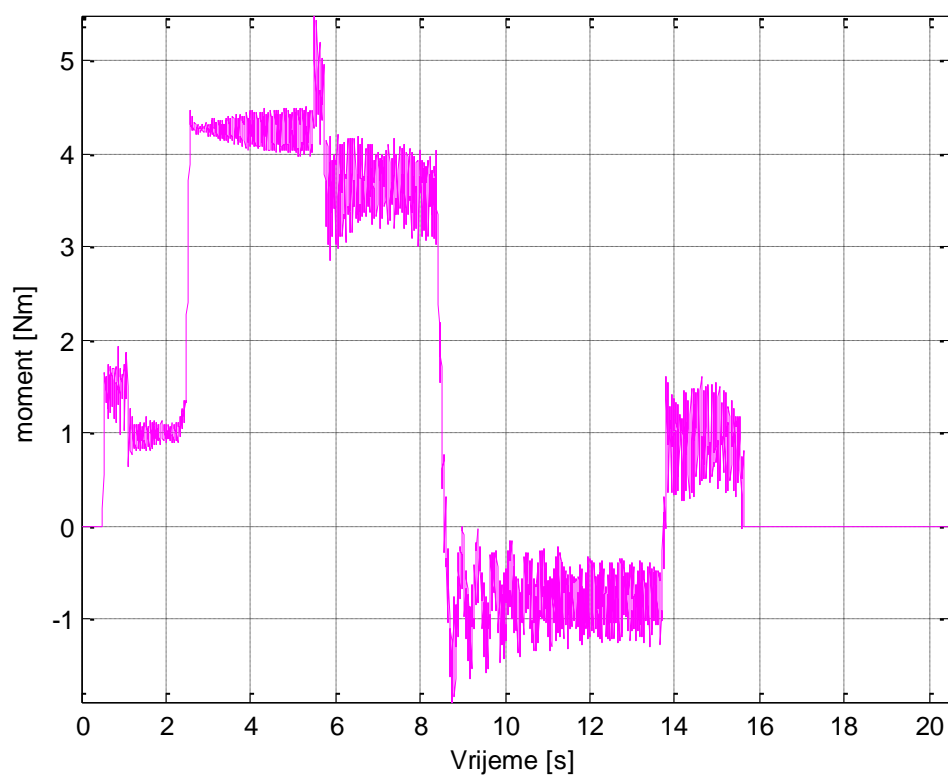
Nakon snimanja odziva strukture vektorskog upravljanja, bilo je potrebno promijeniti strukturu tako da se skalarno upravljanje te snimiti sljedeće veličine:

- brzina vrtnje stroja,
- moment stroja,
- napon istosmjernog međukruga.

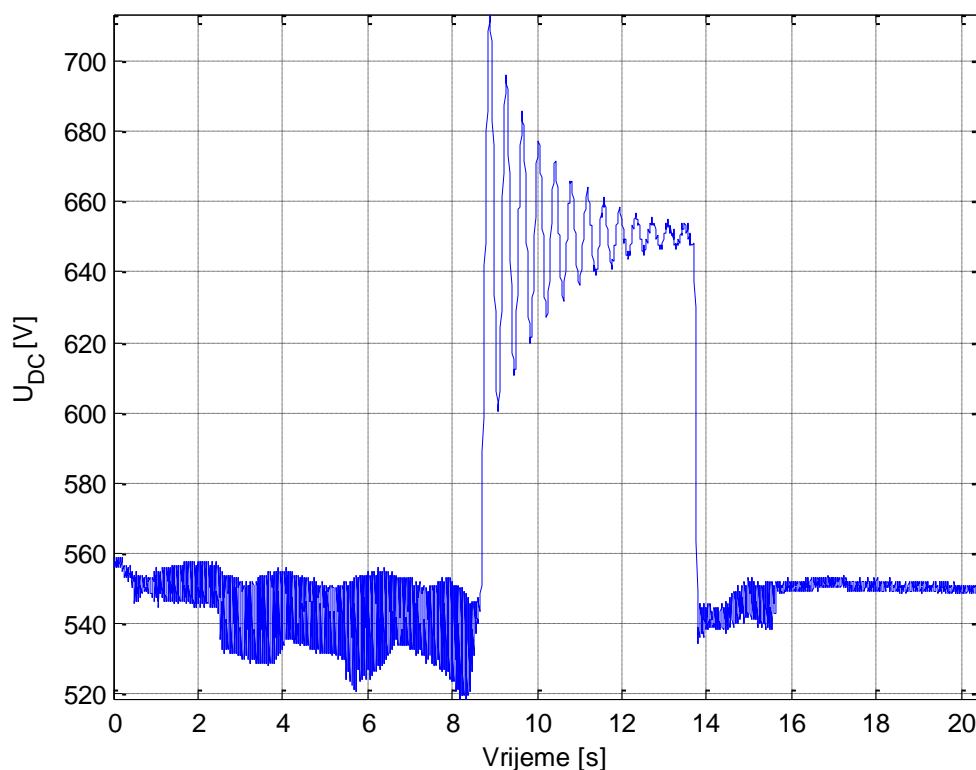
Slikama 7. do 9. prikazane su redom ranije navedene veličine.



Slika 7. Odziv brzine vrtnje



Slika 8. Odziv momenta stroja



Slika 9. Odziv napona istosmjernog međukruga

Komentar odziva za skalarno upravljanje

Zalet pogonskog stroja na brzinu 1000 [rpm] događa se u trenutku $t \approx 0.45$ [s]. Nakon toga, u $t \approx 2.5$ [s] uslijedilo je skokovito opterećenje. U trenutku $t \approx 5.5$ [s] referentna brzina pogonskog stroja povećana je na 1415 [rpm]. Prelazak u generatorski režim rada događa se u $t \approx 8.4$ [s]. U trenutku $t \approx 13.8$ [s] slijedi kratki povratak u motorski režim rada pogonskog stroja te njegovo rasterećenje u $t \approx 15.6$ [s]. Pogonski se stroj zaustavlja od $t \approx 19$ [s].

Što se tiče odziva momenta i napona istosmjernog međukruga, uzroci pojedinih efekata analogni su onima kod vektorskog upravljanja.

Korištena U/f struktura upravljanja predstavlja način upravljanja brzinom u otvorenoj petlji, što znači da ne postoji povratna veza po brzini, tj. za upravljanje se koristi estimirana vrijednost brzine vrtnje. Upravljanje brzinom vrtnje stroja u ovakvoj strukturi pokazuje lošije ponašanje u odnosu na prethodno razmatrano vektorsko upravljanje. Također, zbog neraspregnutosti magnetskog toka i momenta kod skalarnog upravljanja, dolazi do promjena

magnetskog toka u zračnom rasporu stroja i loših dinamičkih karakteristika sustava skalarnog upravljanja.

Zaključak

U ovoj vježbi analizirana je struktura vektorskog upravljanja asinkronim strojem te potom je uspoređena sa skalarnim upravljanjem asinkronim strojem. Budući da se pretvarač nije ponašao u skladu s očekivanjima te je kod vektorskog upravljanja ispod nazivne brzine vrtnje struja i_{sd} bila promjenjivog iznosa, dobiveni su odzivi koji ponegdje odstupaju od teoretski očekivanih. Tako odziv momenta oblikom ne prati odziv struje i_{sq} , a ni stacionarne vrijednosti momenta nisu uvijek jednake onima koje bi se dobile u području konstantnog toka. U drugom dijelu vježbe dobiveni su odzivi pri skalarnom upravljanju. Kako je to upravljanje u otvorenoj petlji, brzinom vrtnje se ne može precizno upravljati, već ona ovisi o momentnim karakteristikama motora i tereta. Skalarno upravljanje brzinom vrtnje stroja inherentno ima lošija dinamička svojstva, zbog neraspregnutosti toka i momenta.