

WOLFMAN 1.D_AUT AUTOMATIKA	FAKULTET ELEKTROTEHNIKE I RAČUNARSTVA ZAGREB	19.12.2011.
	<b>Laboratorij automatike 1</b>	
	Vježba br. 31: Vektorsko upravljanje asinkronim strojem	

## 1. Opis vježbe

Elektromotorni pogon se sastoji od dva asinkrona stroja, a svaki od njih je upravljan industrijskim frekvencijskim pretvaračem Sinamics S120. Strojevi su međusobno spojeni spojkom. U sklopu vježbe potrebno je parametrirati frekvencijske pretvarače Sinamics S120, pri čemu jedan stroj predstavlja pogonski stroj, a drugi stroj predstavlja opteretni stroj. Dakle, prvi pretvarač regulira brzinu vrtnje stroja upotrebom mjernog člana brzine vrtnje, a drugi pretvarač radi u režimu regulacije momenta stroja.

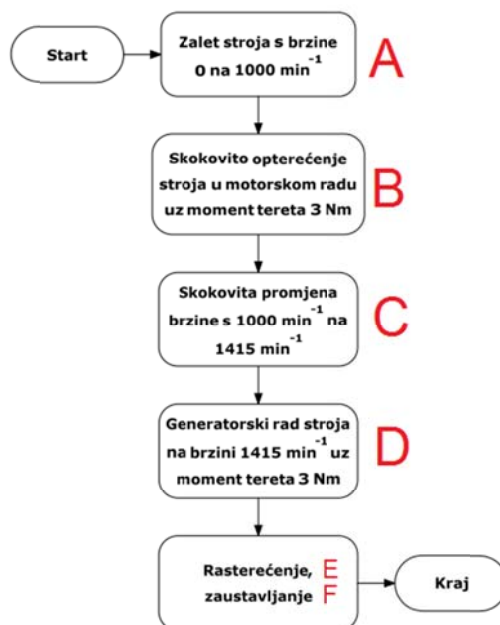
Parametrizacija frekvencijskih pretvarača se vrši pomoću programskog okruženja *Starter*. Tip komunikacije između pretvarača i računala koja je korištena na vježbi je *Profibus* (DP). Upotrebom programskog okruženja za parametriranje podešeni su parametri za vektorsko upravljanje asinkronim strojem upotrebom mjernog člana brzine vrtnje. Jedina razlika kod parametriranja pretvarača za pogonski i opteretni stroj je u tome što je kod opteretnog stroja potrebno dodatno podesiti ograničenja vrijednosti momenta stroja od  $\pm 3$  [Nm] te deaktivirati zaštitnu funkciju za detekciju razlike između zadane i stvarne brzine vrtnje. Na taj način je omogućeno da se opteretni stroj okreće brzinom pogonskog stroja koji je opterećen momentom opteretnog stroja.

Podešeni parametri spušteni su u pretvarače. Nakon prvog pokretanja strojeva aktivirana je rutina za identifikaciju parametara strojeva. Nakon što je utvrđeno da je sve u redu pristupa se snimanju sljedećih odziva u motorskom i generatorskom režimu rada pogonskog stroja prema dijagramu toka na slici 1.:

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

Nakon obavljenog snimanja struktura vektorskog upravljanja asinkronim strojem promijenjena je u strukturu U/f upravljanja te su prema dijagramu toka na slici 1. snimljeni sljedeći signali:

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



Slika 1. Dijagram toka terećenja pogonskog stroja.

U tablicama 1., 2. i 3. su dane specifikacije frekvencijskog pretvarača, motora te enkodera koji su korišteni u vježbi.

**Tablica 1.** Podaci s natpisnih pločica frekvencijskog pretvarača, tj. njegove upravljačke jedinice (eng. *Control Unit*) i energetske jedinice (eng. *Power Module*).

<i>Siemens Sinamics Control Unit CU310 DP</i>		<i>Siemens Sinamics Power Module 340</i>	
Ta	0...55°C	Input	3AC 380-480V 3.8A 50/60Hz
Supply	24 VDC 3.3A	Output	3AC 0-INPUT V In=3.1A
Digital Outputs	24 VDC 0.5A	Serial No	XAX612-004230
Order No	6SL3040-0LA00-0AA1	Order No	6SL3210-1SE13-1UA0
Version	B	Version	B01

**Tablica 2.** Podaci s natpisne pločice asinkronog motora.

<b>SIEMENS</b> 3~ Mot	UD 0907/1223075-001-4	EFF 2 (H)	X
IP 55 90S IM B3	IEC/EN 60034 ThCl 155(F)		
Order No	1LA7090-4AA60-Z		
50 Hz 400/690 V Δ/Y	60 Hz 460 V Δ		
1.1 kW 2.55/1.47 A	1.3 kW 2.5A		
cosφ 0.81 1415/min	cosφ 0.82 1715/min		
380-420/660-725 V Δ/Y	440-480 V Δ		
2.6-2.6/1.5-1.5 A	2.6-2.6 A		

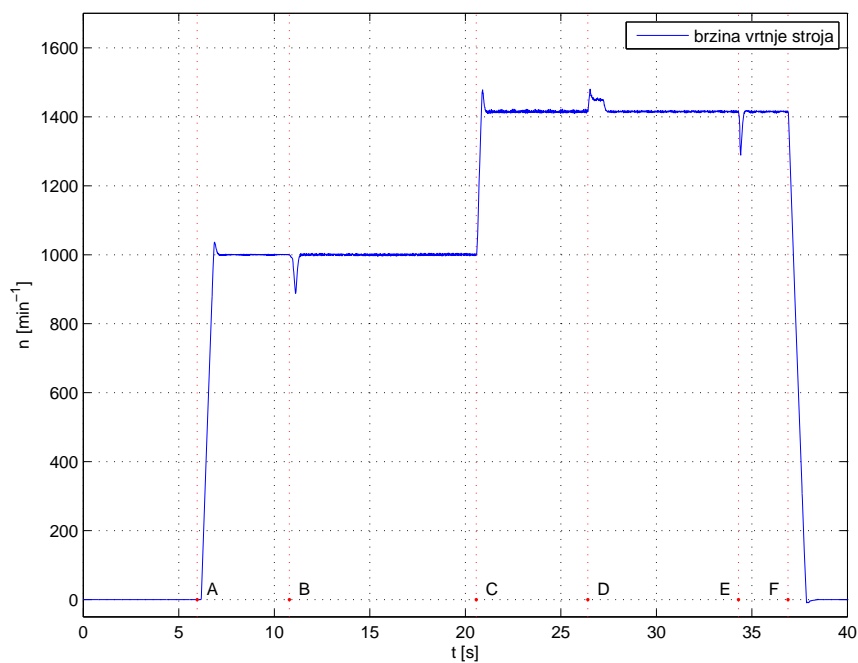
**Tablica 3.** Podaci s natpisne pločice enkodera

<b>SIEMENS</b>
1XP8001-1 / 1024
ID 538 725-11 K6
SN 26 712 182 C

## 2. Odzivi

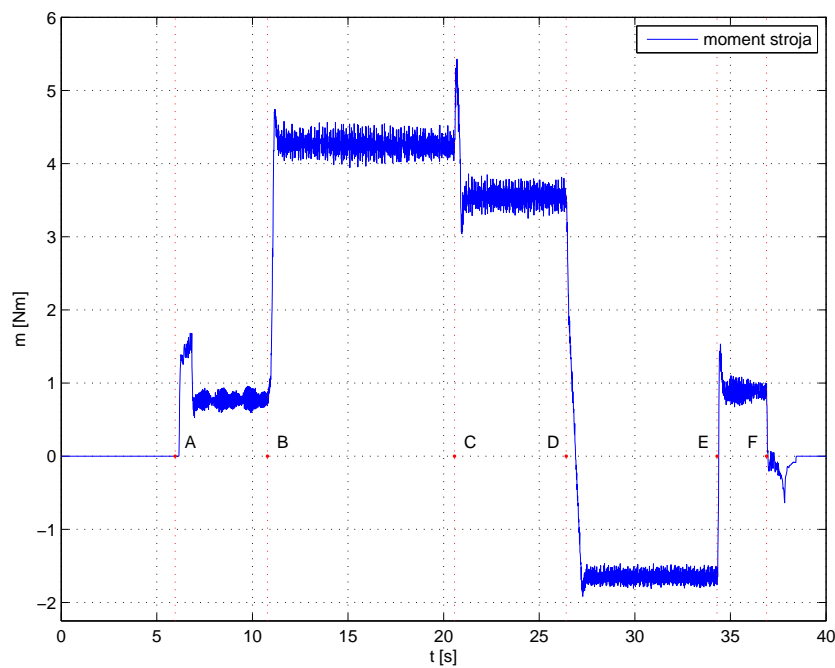
### 2.1. Vektorsko upravljanje pogonskim strojem (zatvorena petlja)

Na slici 2. prikazan je odziv brzine vrtnje vektorski upravljanog asinkronog stroja.



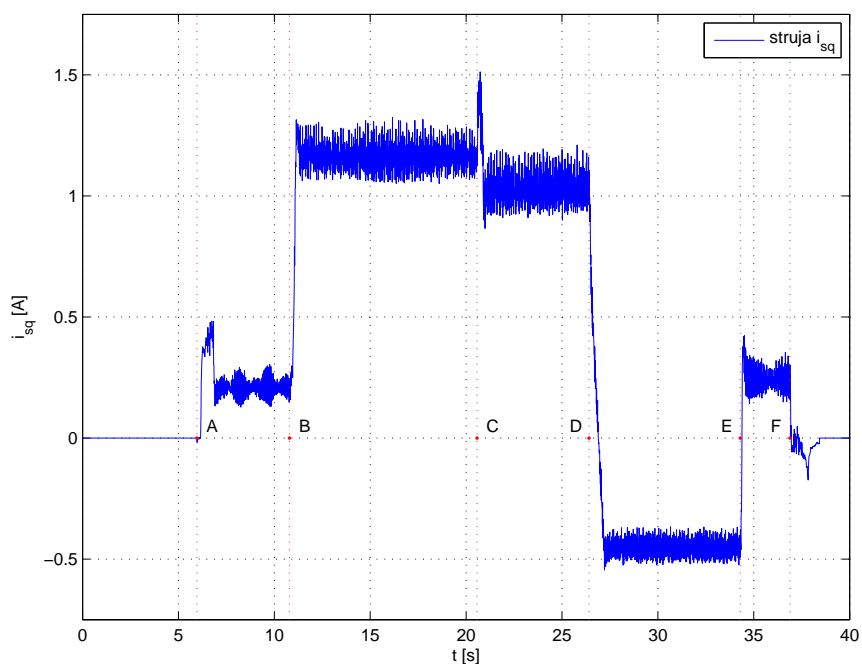
Slika 2. Odziv brzine vrtnje vektorski upravljanog asinkronog stroja.

Na slici 3. prikazan je odziv momenta vektorski upravljanog asinkronog stroja.

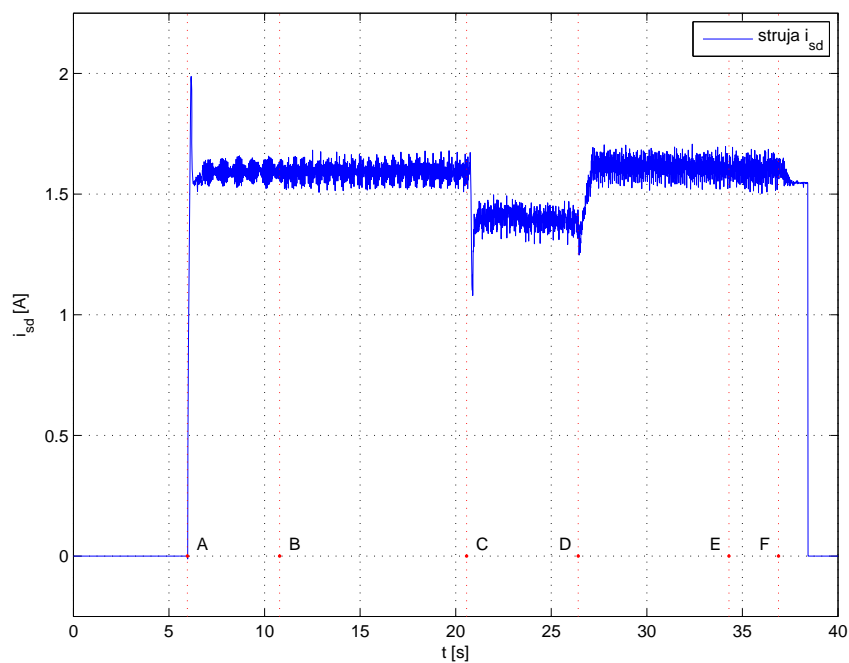


Slika 3. Odziv momenta vektorski upravljanog asinkronog stroja.

Na slikama 4. i 5. prikazani su odzivi komponentata struje statora  $i_{sq}$  i  $i_{sd}$  vektorski upravljanoj asinkronog stroja.

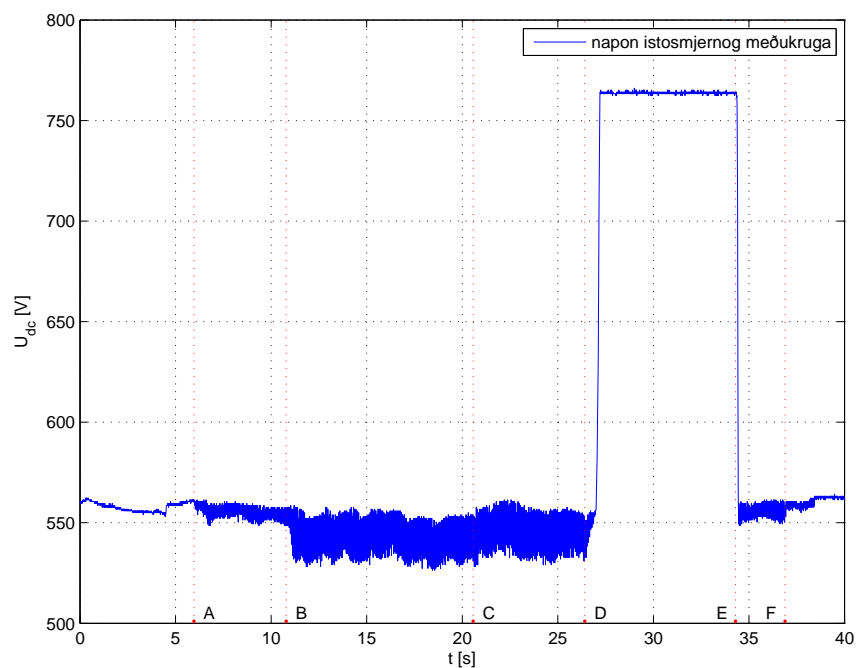


Slika 4. Odziv struje  $i_{sq}$  vektorski upravljanoj asinkronog stroja.



Slika 5. Odziv struje  $i_{sd}$  vektorski upravljanoj asinkronog stroja.

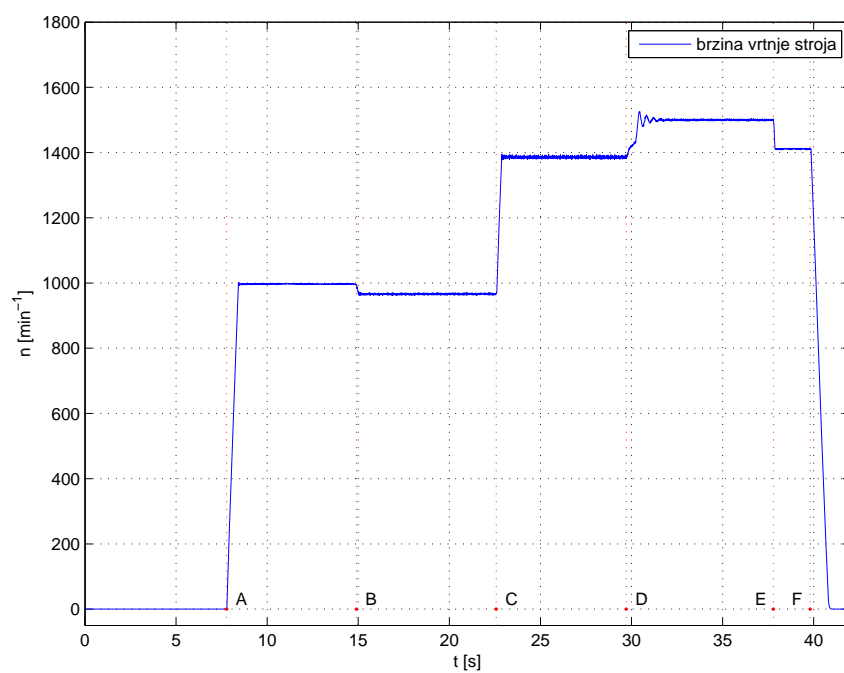
Na slici 6. prikazan je odziv napona istosmjernog međukruga frekvencijskog pretvarača za slučaj vektorski upravljano asinkronog stroja.



Slika 6. Napon istosmjernog međukruga frekvencijskog pretvarača za slučaj vektorski upravljano asinkronog stroja.

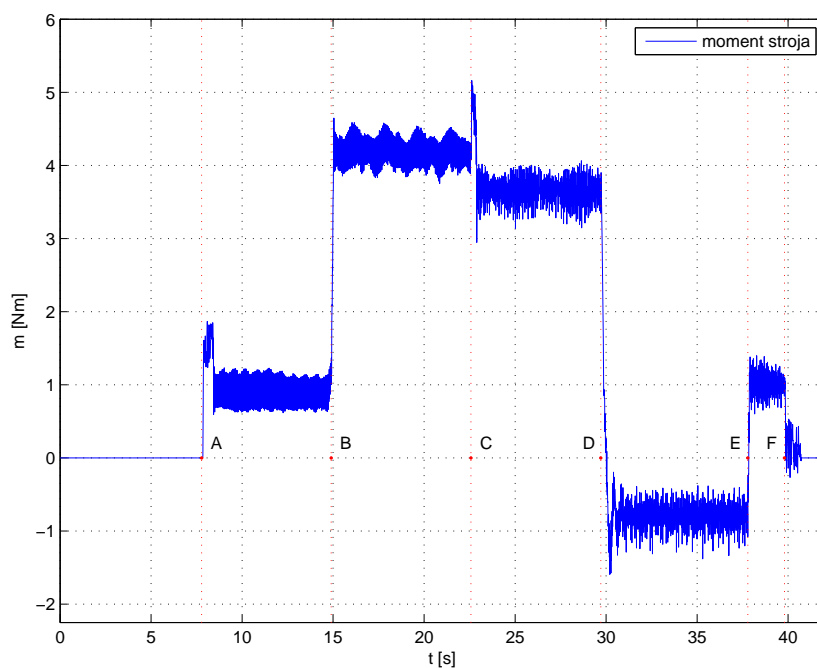
## 2.2 Skalarno U/f upravljanje pogonskim strojem (otvorena petlja)

Na slici 7. prikazan je odziv brzine vrtnje skalarno upravljano asinkronog stroja.



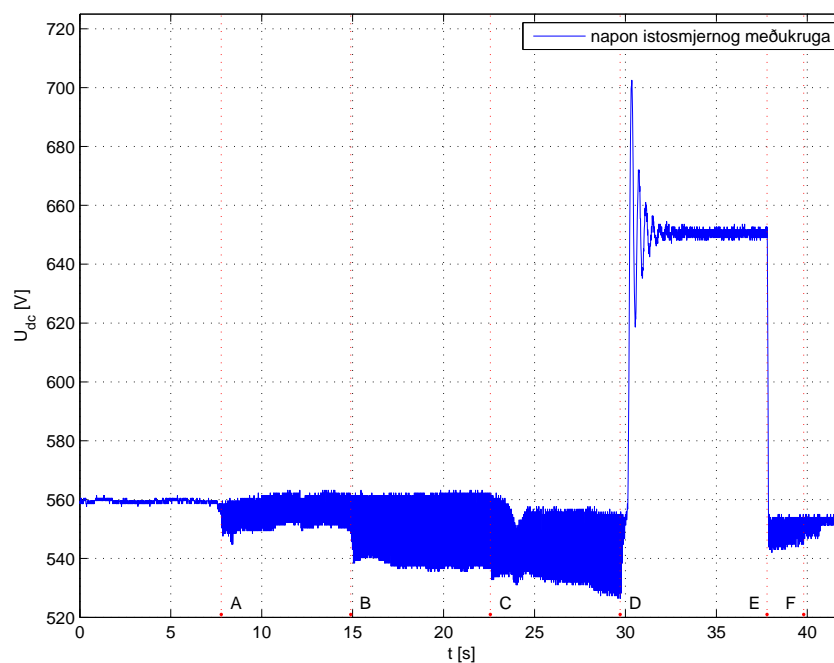
Slika 7. Odziv brzine vrtnje skalarno upravljano asinkronog stroja.

Na slici 8. prikazan je odziv momenta skalarno upravljanog asinkronog stroja.



Slika 8. Odziv momenta skalarno upravljanog asinkronog stroja.

Na slici 9. prikazan je odziv napona istosmjernog međukruga frekvencijskog pretvarača za slučaj skalarno upravljanog asinkronog stroja.



Slika 9. Napon istosmjernog međukruga frekvencijskog pretvarača za slučaj skalarno upravljanog asinkronog stroja.

### 3. Komentar odziva

Usporedbom odziva brzine vrtnje pogonskog stroja u slučaju vektorskog upravljanja (slika 2.) i skalarnog upravljanja (slika 7.) vidljivo je da skalarno upravljani pogonski stroj ima određeno odstupanje od zadane reference. Razlog tome je upravljanje u otvorenoj petlji za U/f strukturu upravljanja što je najbolje vidljivo na slici 7. gdje u trenutku B odziv brzine ima propad zbog terećenja pogonskog stroja teretom od 3 [Nm]. Na slici 2. možemo vidjeti da vektorski upravljani pogonski stroj u zatvorenoj petlji (s PI regulatorom) nema takve propade brzine i da dosta brzo kompenzira promjene momenta tereta bez regulacijskog odstupanja brzine u stacionarnom stanju. Istovremeno, vektorski upravljani pogonski stroj ima nešto veća nadvišenja u odzivu brzine pri skokovitim promjenama reference od skalarno upravljanog pogonskog stroja (usporediti slike 2. i 7. oko trenutka A ili trenutka C). U trenutku D pogonski stroj prelazi u generatorski režim rada, što je postignuto reverziranjem opterećenog stroja pri čemu on postiže negativni limit momenta od -3 [Nm] (II. kvadrant). Moment tereta sada pokušava ubrzati pogonski stroj što se očituje u skoku njegove brzine vrtnje. Opet je na slici 2. vidljivo kako PI regulacija brzine vrtnje brzo kompenzira ovaj poremećaj te vraća brzinu na iznos od 1415 [ $\text{min}^{-1}$ ]. S druge strane, odziv brzine vrtnje skalarno upravljanog pogonskog stroja nakon trenutka D ima prigušene oscilacije koje se relativno brzo ustale na vrijednosti od oko 1500 [ $\text{min}^{-1}$ ], što je opet posljedica nepostojanja zatvorene petlje po brzini vrtnje kod skalarnog upravljanja. U trenutku E slijedi rasterećenje pogonskog stroja što se očituje propadom brzine. Ovaj propad PI regulacija brzine vektorski upravljano stroja brzo kompenzira, dok brzina vrtnje skalarno upravljanog stroja pada na vrijednost od oko 1410 [ $\text{min}^{-1}$ ]. Valja primijetiti da je ova vrijednost brzine vrtnje skalarno upravljanog stroja nešto veća od vrijednosti između trenutaka C i D gdje je bila oko 1380 [ $\text{min}^{-1}$ ]. Ovo je i očekivano budući da je stroj između trenutaka C i D bio opterećen momentom od 3 [Nm], a nakon trenutka E je rasterećen te je i brzina pogonskog stroja u otvorenoj petlji veća. U trenutku F nastupa kočenje pa brzina po rampi pada na nulu.

Odzivi momenta pogonskog stroja za slučaj vektorskog upravljanja (slika 3.) i za slučaj skalarnog upravljanja (slika 8.) ukazuju na to da moment skalarno upravljanog stroja ima veće oscilacije od vektorski upravljano stroja. U oba slučaja je vidljivo da moment pogonskog stroja između trenutaka A i B (dok još nije opterećen momentom od 3 [Nm]) ima neki iznos različit od nule. Taj moment se može pripisati trenju i ventilaciji koje pogonski stroj mora savladati i dok je neopterećen. Nakon trenutka B iznos momenta ima skok upravo od oko 3 [Nm]. U trenutku C povećava se referenca brzine vrtnje, a moment ima blagi propad (iako bi teoretski trebao ostati isti, jer se opterećenje nije mijenjalo) što se može pripisati nelinearnosti stroja. Iz odziva momenta pogonskog stroja nakon trenutka D jasno se može vidjeti da je generatorski režim rada postignut reverziranjem opterećenog stroja, tj. momenta tereta. Apsolutna vrijednost momenta u generatorskom režimu rada je manja nego u motorskom režimu rada zbog toga što moment trenja i ventilacije u oba slučaja djeluje u istom smjeru – suprotno od smjera brzine vrtnje (u motorskom režimu ima isti smjer kao moment tereta, a u generatorskom režimu ima suprotan smjer od momenta tereta). Nakon rasterećenja pogonskog stroja u trenutku E, moment se opet vraća na vrijednost koju je imao između trenutaka A i B. U trenutku F slijedi kočenje pa moment pada na nulu.

Kod vektorski upravljano pogonskog stroja snimana je i struja statora, tj. njezine komponente  $i_{sq}$  i  $i_{sd}$  (slika 4. i slika 5.). Valja uočiti da su ove dvije komponente u potpunosti raspregnute. Odziv struje  $i_{sq}$  (komponenta momenta) u potpunosti prati oblik

odziva momenta pogonskog stroja. Struja  $i_{sd}$  (komponenta toka) ostaje čitavo vrijeme gotovo konstantna, što znači da je tok bio konstantan. Postoji mali propad ove struje u trenutku C što znači da se i tok u tom trenutku smanjio.

Odzivi napona istosmjernog međukruga frekvencijskog pretvarača za slučaj vektorskog upravljanja (slika 6.) i skalarnog upravljanja (slika 9.) ukazuju na to da se u generatorskom režimu rada više energije vraća u mrežu, tj. disipira na otporniku u istosmjernom međukrugu pretvarača, pri vektorskom upravljanju (napon iznosi oko 764 V) nego pri skalarnom upravljanju (napon iznosi oko 650 V). Također, kod skalarnog upravljanja napon istosmjernog međukruga u generatorskom režimu rada ima prigušene oscilacije, što je uzrokovano oscilacijama momenta (također vidljivo i u prigušenim oscilacijama brzine u generatorskom režimu rada na slici 7.).

## 4. Zaključak

U sklopu laboratorijske vježbe napravljena je usporedba vektorskog i skalarnog upravljanja asinkronim strojem, snimanjem odziva brzine i momenta stroja te napona istosmjernog međukruga frekvencijskog pretvarača. Za slučaj vektorskog upravljanja snimljeni su i odzivi komponenta struje statora pogonskog stroja  $i_{sq}$  te  $i_{sd}$ .

Vektorsko upravljanje asinkronim strojem u zatvorenoj petlji po brzini vrtnje je bez ikakve sumnje po pitanju kvalitete odziva puno bolje od skalarnog upravljanja u otvorenoj petlji. Razlog tome leži u činjenici da se skalarni način upravljanja temelji na statičkom modelu (stacionarno stanje) pa su dinamičke karakteristike puno lošije nego kod vektorskog načina upravljanja, gdje se koristi tehnika neovisnog upravljanja tokom i momentom po analogiji s istosmjernim strojem. Vektorski način upravljanja se koristi primjerice kod zahtjevnijih servo-primjena gdje su potrebne jako dobre dinamičke karakteristike sustava.

Asinkroni stroj upravljan u otvorenoj petlji skalarno po načelu  $U/f = konst.$  nije u stanju precizno pratiti referencu niti omogućiti kompenzaciju poremećaja. Ipak, prednost ovog načina upravljanja su jednostavnost i manja cijena u odnosu na vektorsko upravljanje u zatvorenoj petlji pa je u slučajevima u kojima zahtjevi na kvalitetu vladanja sustava nisu strogi opravdano koristiti skalarno upravljanje.