

**REALIZACIJA VEKTORSKOG UPRAVLJANJA ASINHRONOG MOTORA,  
UPOTREBOM ALATA ZA AUTOMATSKO GENERISANJE KODA**  
**VECTOR CONTROL IMPLEMENTATION OF INDUCTION MOTOR, USING  
AUTOMATIC CODE GENERATION TOOLS**

Nikola Diklić, Evgenije Adžić, Marko Vekić, *Fakultet tehničkih nauka, Novi Sad*

**Oblast – ELEKTROTEHNIKA I RAČUNARSTVO**

**Kratak sadržaj** – U ovom radu se prati razvoj indirektnog vektorskog upravljanja asinhronog motora, razvijanom u okruženju za automatsko generisanje koda. Korišćeni alat za grafičko razvijanje i generisanje koda je MATLAB/SIMULINK. Cilj rada je da se istaknu prednosti koje nudi automatsko generisanje koda, upotrebljeno pri razvijanju složenog algoritma vektorskog upravljanja.

**Ključne reči:** mikrokontroler, grafički kod, vektorsko upravljanje, PWM modulacija

**Abstract** – This paper follows the development of indirect vector control of induction motor, developed in a model based environment for automatic code generation. The tool used for code generation is MATLAB/SIMULINK. Goal of the paper is to point out the benefits that automatic code generation provides, in developing of complex algorithm, such as vector control.

**Keywords:** microcontroller, graphic code, vector control, PWM modulation

## 1. UVOD

Zahtevi modernog društva za čistijom energijom i većom efikasnošću, dovode do toga da oblast upravljanja elektromotornim pogonima (*motor control*) postaje sve interesantnija za izučavanje i implementaciju. Najaktuelnije i najoptimalnije metode upravljanja se baziraju na vektorskoj kontroli, odnosno, na primeru asinhronih motora, svode se na procenu položaja rotorskog fluksa. Jedna od najčešće primenjivanih metoda je indirektna procena položaja vektora rotorskog fluksa (*Indirect field oriented control - IFOC*).

Uz navedene zahteve, u modernoj industriji je sve prisutniji pristup automatskog generisanja koda (*automatic code generation*), putem programa koji se baziraju na razvoju modelovanjem sistema (*Model based development*). Ovaj rad ima za cilj da objedini navedene trendove i predloži novi pristup pri razvoju, kako algoritma, tako i kodiranja u oblasti upravljanja elektromotornim pogonima, konkretno asinhronim motorima.

### NAPOMENA:

Ovaj rad proistekao je iz master rada čiji mentor je bio doc. dr Marko Vekić.

Cilj rada jeste da se čitaocu, postepeno, praktično prikaže proces razvoja i implementacije indirektnog vektorskog upravljanja asinhronim motorom.

## 2. PRINCIP VEKTORSKOG UPRAVLJANJA ASINHRONIM MOTOROM

Vektorsko upravljanje asinhronim motorom, zasniva se na rasprezanju upravljanja momentom i fluksom. To takođe podrazumeva pojednostavljen princip upravljanja sličan principu upravljanja motorom jednosmerne struje, gde se pobuda i struja armature potpuno nezavisno kontrolišu. Posledica potpuno raspregnute kontrole se ogleda u tome što se vektor struje i vektor fluksa mogu postaviti upravno jedan na drugi, čime se postiže maksimalan momenat za date amplitude vektora. Odnosno, može se reći da asinhroni motor time počinje da se ponaša kao linearni konvertor momenta, gde je za konstantnu amplitudu fluksa, moment direktno srazmeran struji motora. Time se postiže poboljšanje dinamičkih i regulacionih karakteristika asinhronog motora, što mu omogućava primat na tržištu. Za realizaciju vektorskog upravljanja, neophodno je prvo transformisati matematički model asinhronne mašine iz originalnog trofaznog *abc* domena, u dvofazni domen. Elektromagnetni moment koji mašina razvija, predstavljena u dvofaznom rotirajućem *dq* koordinatnom sistemu, data je jednačinom (1). Iz jednačine se eliminacijom *q* komponente fluksa, jasno vidi kako asinhroni motor postaje linearni konvertor momenta.

$$m_e = \frac{3}{2} p \frac{L_m}{L_r} (\psi_{rd} i_{sq} - \psi_{rq} i_{sd}) \quad (1)$$

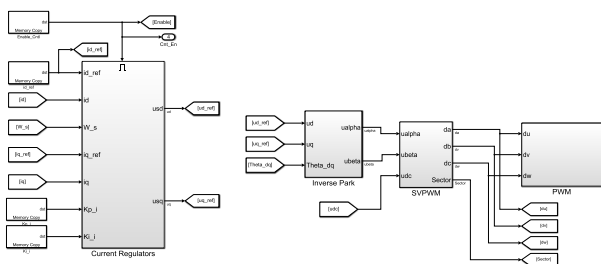
## 3. HARDVERSKI OPIS SISTEMA

U praktičnoj realizaciji rada korišćen je asinhroni motor snage 1,1 kW, napajan preko industrijskog pretvarača učestanosti *N700*, proizvođača *Hyundai*. Na ovom pretvaraču, originalna upravljačka (matična) ploča zamenjena je *LARA-100 - Power Electronics Launch Ramp Motherboard* matičnom pločom, čime je ostvarena otvorena platforma za proizvoljno kreiranje aplikacije. *LARA-100* matična ploča kontrolisana je od strane mikrokontrolera, proizvođača *Texas Instruments* iz serije *C28335*. Ovaj kontroler koristi *Code Composer Studio* kao alat za spuštanje koda, prethodno izgenerisanog upotrebom MATLAB/SIMULINK-a. Zatvaranje povratne sprege omogućeno je preko već postojećih LEM sondi na energetskom pretvaraču, dok je brzina očitavana

inkrementalnim enkoderom proizvođača SIEMENS. Za potrebe *online* debugovanja, omogućeno je posmatranje bilo kog signala iz grafičkog koda, putem *Perun Power Desk* okruženja u realnom vremenu. Ova mogućnost je značajno doprinela brzini razvoja algoritma i analizi rezultata rada.

#### 4. SOFTVERSKA REALIZACIJA KODA

Grafička realizacija koda zasniva se na modularnom razvoju unutar SIMULINK-a. Ovo podrazumeva činjenicu da se odgovarajući blokovi, izvršavani sa istom periodom odabiranja, grupišu u jedan blok. Takođe je ostvareno razdvajanje grafičkog koda u manje podsisteme, koji realizuju pojedinačnu funkcionalnost. Najvažniji deo grafičkog koda, za upravljanje elektromotornim pogonima, smešten je u *PWM* prekidnu rutinu (20 kHz). U njoj su implementirani proračuni regulatora, odgovarajuće transformacije veličina iz jednog u drugi domen, kao i *SVPWM* modulator. Od važnijih funkcionalnosti sistema upravljanja jedino merenje brzine zahteva nešto manju učestanost izvršavanja, pa je tako izmeštena u glavni podsistem koji se izvršava na 100 Hz. Deo ovako realizovanog grafičkog koda prikazan je na slici (1).



Slika 1 Deo grafičkog koda prekidne (PWM) rutine

Grafički kod formiran je od pojedinačnih modula (merenje struje, merenje brzine, *SVPWM*...). Nakon toga, izvršena je njihova integracija u jedinstveni sistem. Ovaj princip razvoja, omogućio je eksperimentalnu proveru grafičkog koda, nakon svake nadogradnje.

#### 5. EKSPERIMENTALNA PROVERA

Tri značajna trenutka u razvoju algoritma su:

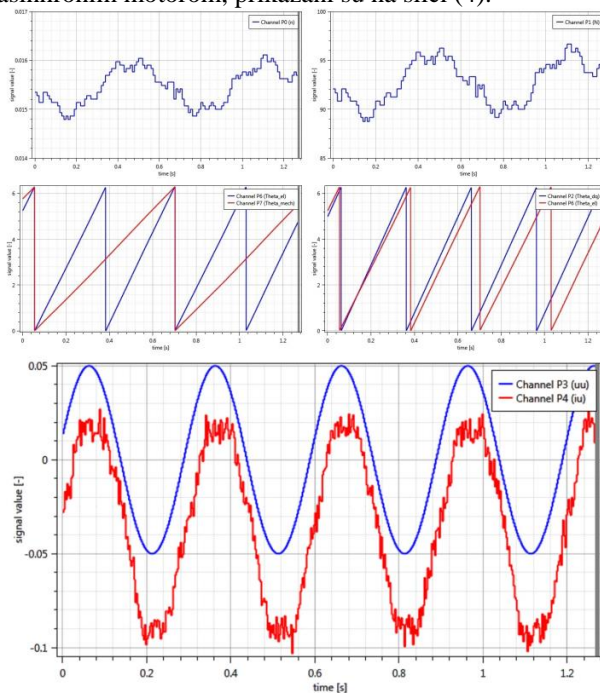
- otvorena petlja,
- strujna regulaciona petlja i
- brzinska regulaciona petlja.

Ogledi izvršeni u tri navedene faze razvoja, dovoljan su pokazatelj valjanosti sistema. Prvo je izvršen ogled u otvorenoj petlji. Zadavane su različite referentne frekvencije napona i posmatrani su brzina motora, ugao *dq* koordinatnog sistema i naponi na motoru. Jedan od rezultata ogleda prikazan je na slici (2).

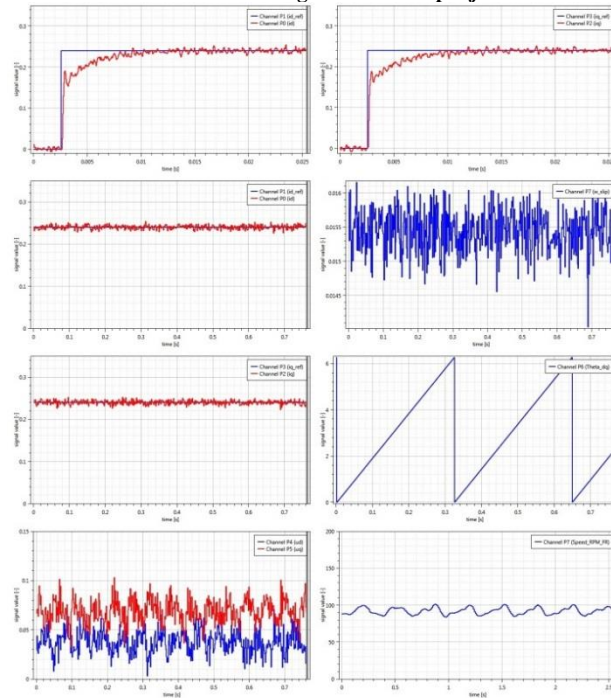
Kao provera valjanosti koda strujne petlje posmatrani su tranzijentni procesi struja i njihovo ponašanje u stacionarnom stanju. Rezultati ovog ogleda dati su slikom (3).

Konačna provera ponašanja sistema na ulaznu referencu brzine, ogleda se u zadavanju tranzicija reference i praćenju odziva brzine. Pored praćenja odziva brzine, veličine od interesa su *q* komponenta struje i napon *DC*

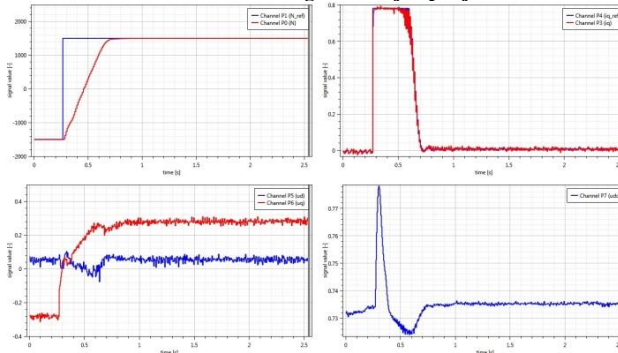
kola. Rezultati ovog ogleda i konačna potvrda ispravne implementacije indirektnog vektorskog upravljanja asinhronim motorom, prikazani su na slici (4).



Slika 2 Rezultati ogleda otvorene petlje



Slika 3 Rezultati ogleda strujne petlje



Slika 4 Rezultati ogleda brzinske petlje

## 6. ZAKLJUČAK

Korišćenje savremenih metoda generisanja koda za upravljanje naizmeničnog pogona, upotrebom mikrokontrolera, pokazalo se kao veoma dobro iz svih aspekata. Grafički kod je mnogo pregledniji i čitljiviji od koda pisanog u drugom programskom jeziku. Algoritam sistema je vizuelno pristupačan, što olakšava debugovanje sistema. Prednosti koje nude alati, kao što je npr. *PERUN Power Desk*, omogućavaju jasnu prezentaciju veličina i signala, kojima se upravlja ili koje operater zadaje.

Čitaocu rada, prepušteno je da sam pokuša idejnu nadogradnju algoritma upravljanja i da doprinese razvoju ovog novog, modernog načina programiranja, koji nalazi sve veću primenu u industriji. Indirektno vektorsko upravljanje asinhronim motorom je samo jedan od mogućih algoritama za upravljanje naizmeničnim pogonima. U industriji, isti nailazi na izmene u vidu uprošćenja, pojednostavljenja i izmena koje se odnose na samu energetska efikasnost motora. Modularnost grafičkog koda omogućava da se kod prilagodi najnovijim metodama i specifičnim slučajevima aplikacije, kao i da se prenese (uz minimalne izmene) na upravljanje sinhronom mašinom.

## 7. LITERATURA

- [1] Darko P. Marčetić, Mikroprocesorsko upravljanje energetskim pretvaračima, FTN Izdavaštvo, 2014.
- [2] Veran Vasić, Đura Oros, Energetska elektronika u pogonu i industriji, FTN Izdavaštvo, 2012.  
Primer: B. Klaus, P. Horn, Robot Vision, Cambridge, MA, MIT Press, 1986.
- [3] Evgenije Adžić, LARA-100 (Power Electronics Launch Ramp) Motherboard uputstvo
- [4] Slobodan N. Vukosavić, Električne mašine, Univerzitet u Beogradu, Elektrotehnički fakultet, Akademska misao, Beograd 2010.
- [5] Stevan Grabić, Upravljanje energetskim pretvaračima – skripta, Univerzitet u Novom Sadu, Fakultet tehničkih nauka, 2016.
- [6] Embedded Coder Support Package for Texas Instruments C2000 Processors Examples, 2017.  
dostupno na:  
[https://www.mathworks.com/help/supportpkg/texasinstrumentsc2000/examples.html#responsive\\_offcanvas](https://www.mathworks.com/help/supportpkg/texasinstrumentsc2000/examples.html#responsive_offcanvas)
- [7] MATLAB Support, 2017. dostupno na:  
[https://www.mathworks.com/support/index.html?s\\_c\\_id=pl\\_support](https://www.mathworks.com/support/index.html?s_c_id=pl_support)

## Kratka biografija:



**Nikola Diklić** rođen je u Novom Sadu 1994. god. Diplomski rad pod nazivom „Digitalno U/f upravljanje asinhronim motorom upotrebom automatskog generisanja koda u Matlab/Simulink-u odbranio na Fakultetu tehničkih 2017.god.

Od 2018. godine zaposlen je u preduzeću Continental u Novom Sadu.



**Evgenije Adžić** je diplomirao 2005, magistrirao 2007, i doktorirao 2014. godine redom na Fakultetu tehničkih nauka. Oblasti interesovanja su mu elektromotorni pogoni, digitalno upravljanje i električna i hibridna vozila. Od oktobra 2018. je zaposlen u preduzeću Continental u Novom Sadu.



**Marko Vekić** je diplomirao 2005, magistrirao 2007, i doktorirao 2014. godine redom na Fakultetu tehničkih nauka. Oblasti interesovanja su mu energetska elektronika u distributivnim i prenosnim mrežama, kvalitet električne energije i mikromreže. Od 2014. je zaposlen na Fakultetu tehničkih nauka u zvanju docenta