

# Identifikacija parametara mašine jednosmerne struje sa nezavisnom pobudom posle remonta

Miroslav Bjekić, Vojislav Vujičić, Marko Rosić, Marko Šučurović

**Apstrakt**— U radu je opisan postupak identifikacije parametara mašine jednosmerne struje sa nezavisnom pobudom posle izvršenog remonta. Snimljene su karakteristike praznog hoda generatora i mehaničke karakteristike motora za različite vrednosti priključnog napona, pobudne struje i dodate otpornosti u kolo indukta. Takođe su određeni i gubici usled obrtanja. Eksperimentalni rezultati potvrđeni su na dva načina koristeći merač momenta i elektromagnetnu kočnicu. Dobijeni koeficijenti elektromotorne sile (EMS) i momenta su upoređeni sa ranijim nazivnim vrednostima i dato je objašnjenje dobijenih razlika.

**Ključne reči**— Mašina jednosmerne struje, identifikacija parametara, snimanje karakteristika

## I. UVOD

U laboratoriji za Električne mašine, pogone i automatiku - EMPA [1] na FTN u Čačku studenti IV godine modula Industrijska elektroenergetika studijskog programa Elektrotehničko i računarsko inženjerstvo izvode set vežbi iz predmeta Ispitivanje električnih mašina [2]. Programom predmeta se vrši ispitivanje mašine jednosmerne struje (JSS) i asinhronne mašine. Generacija studenata školske 2020/21 je dobila zadatak da ispita mašinu JSS posle remonta i da odredi njene nove parametre. Što tačnije određivanje parametara mašine dalje određuje kvalitet strujne i brzinske petlje odnosno dinamiku regulacije pogona sa mašinom JSS [3-5].

Naznačeni podaci ispitivane mašine JSS su sledeći:

$$\begin{aligned}U &= 21,5 - 260 \text{ V} \\I_a &= 17 - 17,4 \text{ A} \\n &= 50 - 2741 \text{ o/min} \\P &= 0,07 - 3,9 \text{ kW} \\J_{np} &= 0,6 \text{ A}, U_{np}=200 \text{ V} \\k_{TH} &= 25 \text{ (Vmin)}^{-1}\end{aligned}$$

Na osnovu navedenih naznačenih vrednosti mogu se odrediti dva bitna parametra mašine JSS sa nezavisnom pobudom: konstanta momenta –  $k_M$  i konstanta EMS –  $k_e$ . Na osnovu izraza za moment (1) i naznačenih podataka mašine JSS

$$M = c\Phi I_a = k_M I_a \quad M = 9,55 P/n \quad (1)$$

može se dobiti vrednost konstante momenta koji iznose:

Miroslav Bjekić – Fakultet tehničkih nauka u Čačku, Univerzitet u Kragujevcu, Svetog Save 65, 32000 Čačak, Srbija (e-mail: [mbjekic@gmail.com](mailto:mbjekic@gmail.com)).

Vojislav Vujičić – Fakultet tehničkih nauka u Čačku, Univerzitet u Kragujevcu, Svetog Save 65, 32000 Čačak, Srbija (e-mail: [vojislav.vujicic@ftn.kg.ac.rs](mailto:vojislav.vujicic@ftn.kg.ac.rs)).

Marko Rosić – Fakultet tehničkih nauka u Čačku, Univerzitet u Kragujevcu, Svetog Save 65, 32000 Čačak, Srbija (e-mail: [marko.rosic@ftn.kg.ac.rs](mailto:marko.rosic@ftn.kg.ac.rs)).

Marko Šučurović – Fakultet tehničkih nauka u Čačku, Univerzitet u Kragujevcu, Svetog Save 65, 32000 Čačak, Srbija (e-mail: [marko.sucurovic@ftn.kg.ac.rs](mailto:marko.sucurovic@ftn.kg.ac.rs)).

$$k_{M, P_{max}} = 9,55 P / (I_a n) = 9,55 \cdot 3900 / (17,7 \cdot 2741) = 0,7676 \text{ Nm/A}$$

$$k_{M, P_{min}} = 9,55 P / (I_a n) = 9,55 \cdot 70 / (17 \cdot 50) = 0,786 \text{ Nm/A}$$

$$k_M \approx 0,78 \text{ Nm/A.}$$

Iz izraza za EMS:

$$E = U - R_a I_a \quad \text{gde je } E = c\Phi \omega = k_e n \quad (2)$$

dobija se vrednost konstante EMS

$$k_e = (U - R_a I_a) / n = (260 - 0,8 \cdot 17,7) / 2741 = 0,0897 \text{ Vmin}$$

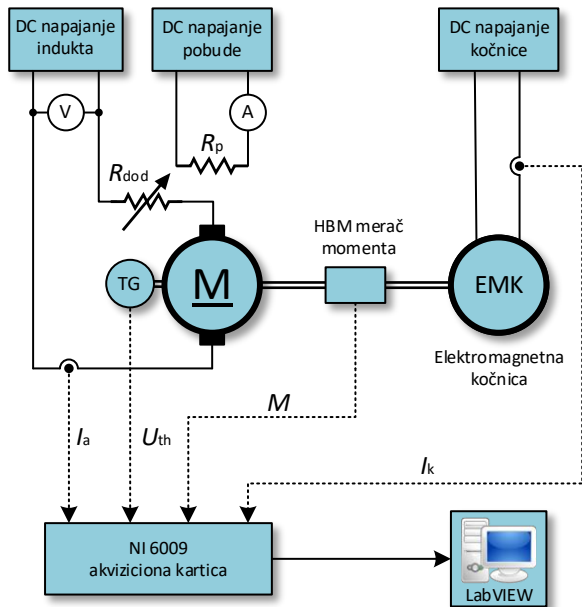
$$k_e \approx 0,09 \text{ Vmin.}$$

Može se primetiti da između izračunatim koeficijentima ne važi međusobna zavisnost da je  $k_M = 9,55 k_e$ , što je i bio dodatni razlog da se studentima postavi zadatak da se laboratorijskim ispitivanjem mašine jednosmerne struje tačno utvrde njegovi novi parametri.

Teorijske osnove studenti mogu da razumeju korišćenjem i simulacionih programa za njih posebno kreiranih u programskom paketu GEOGEBRA [6, 7]. Primeri koji su realizovani u laboratoriji i prikazani u nastavku rada su takođe realizovani u ovom programskom paketu [8].

## II. KORIŠĆENA OPREMA I ELEKTRIČNA ŠEMA

Električna šema povezivanja motora JSS, elektromagnetne kočnice (EMK) i merno-akvizicione opreme je na slici 1. Na slici se može uočiti da je mašina JSS povezana na dva nezavisna izvora napajanja JSS, tj. realizovana je nezavisna pobuda pri izvođenju eksperimenta. Struja pobude je merena pomoću ampermetra. Napon napajanja indukta meren je voltmetrom, dok se struja indukta  $I_a$  merena pomoću strujnog senzora i akvizicione kartice NI 6009. Za potrebe eksperimenta, tj. za snimanje jedne od karakteristika mašine u kolu indukta redno je povezivana i promenljiva otpornost  $R_{dod}$ . Mašina JSS je mehanički povezana preko merača momenta sa EMK kojom je mašina opterećivana. Sa merača momenta se dobija vrednost momenta  $M$  čiji se naponski signal meri akvizicionom karticom. Za napajanje EMK korišćen je promenljivi izvor JSS čija struja  $I_k$  je merena pomoću šant otpornika i akvizicione kartice. Tako izmerena struja korišćena je za dobijanje vrednosti kočnog momenta EMK. Na drugoj strani vratila mašine se nalazi tahogenerator (TG) pomoću kod se tokom eksperimenta meri brzina obrtanja mašine. Naponski signal tahogeneratora  $U_{th}$  se takođe meri pomoću akvizicione kartice. Za potrebe merenja i snimanja navedenih veličina napravljena je odgovarajuća aplikacija u programu LabVIEW.

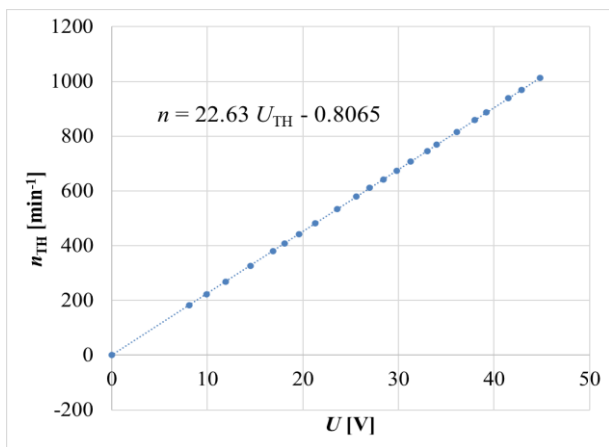


Sl. 1. Električna šema veze prilikom snimanja mehaničke karakteristike motora JSS sa nezavisnom pobudom

### III. KARAKTERISTIKE GENERATORA JSS

#### A. Baždarenje tahogeneratora

Za potrebe merenja brzine obrtanja mašine korišćen je tahogenerator. Izvršeno je merenje napona na krajevima tahogeneratora za različite brzine obrtanja kako bi se dobila tačna vrednost njegove konstante (slika 2).

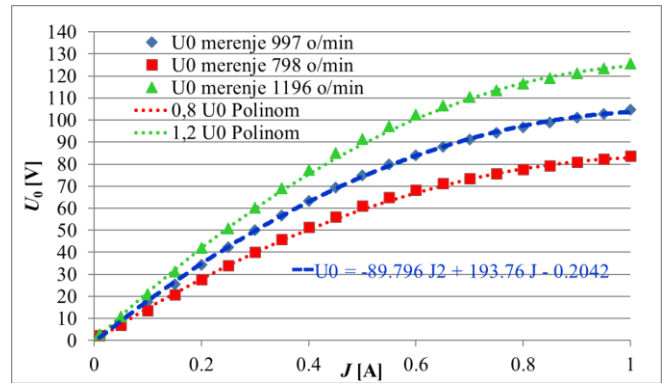


Sl. 2. Snimljena zavisnost brzine mašine JSS od napona na krajevima tahogeneratora

Dobijena je konstanta tahogeneratora od 22,63 (Vmin)<sup>-1</sup> koja je za 10,4% manja od naznačene vrednosti  $k_{TH}=25$  (Vmin)<sup>-1</sup>.

#### B. Snimanje karakteristika praznog hoda

Karakteristika praznog hoda je snimana stavljajući mašinu JSS u generatorski režim rada pokretanjem pomoću asinhronne mašine. Vršeno je snimanje karakteristike za tri brzine obrtanja: 997, 798 i 1196 o/min. Izvedena je interpolaciona funkcija zavisnosti napona praznog hoda od pobudne struje  $U_0 = f(J)$  za brzinu 997 o/min. Znajući tu analitičku zavisnost moguće je pomoću proporcije dobiti je za bilo koju drugu brzinu. U ovom slučaju za brzine iznad i ispod osnovne krive polinom je množen je sa koeficijentom 0,8 i 1,2. Na slici 3 prikazane su izmerene vrednosti i interpolacione funkcije.



Sl. 3. Karakteristike praznog hoda generatora JSS sa nezavisnom pobudom i interpolirane funkcije za tri različite vrednosti pobudne struje

Na slici 3 se mogu uočiti odlična poklapanja krivih pa se zaključuje da se, sa dovoljnom preciznošću može usvojiti zavisnost napona praznog hoda (indukovane EMS) u funkciji pobudne struje za konstantnu brzinu obrtanja kao:

$$U_0 = (-89,796J^2 + 193,76J - 0,2042)n/997 \quad (3)$$

odakle sledi da konstante  $k_e=U_0/n$  za pobudne struje 0,6; 0,5 i 0,4 A iznose:

$$k_{e,J=0,6A} = (-89,796 \cdot 0,6^2 + 193,76 \cdot 0,6 - 0,2042)/997 = 0,084 \text{ Vmin}$$

$$k_{e,J=0,5A} = (-89,796 \cdot 0,5^2 + 193,76 \cdot 0,5 - 0,2042)/997 = 0,075 \text{ Vmin}$$

$$k_{e,J=0,4A} = (-89,796 \cdot 0,4^2 + 193,76 \cdot 0,4 - 0,2042)/997 = 0,063 \text{ Vmin}$$

Kao što je i očekivano, dobijene su tri različite vrednosti konstante EMS koja proporcionalno zavisi od jačine magnetnog fluksa koji stvara pobudni namotaj

$$E_a = L_p p' N' / 60 a' J n = k_e n \quad (4)$$

gde je:  $L_p$  – induktivnost pobudnog navoja,  $p'$  – broj polova,  $N'$  – broj aktivnih provodnika navoja indukta,  $a'$  – broj paralelnih grana,  $J$  – pobudna struja i  $n$  – brzina obrtanja.

Na osnovu dobijenih koeficijenata i jednačine (4) se može odrediti veličina koja je srazmerna sa induktivnošću pobudnog namotaja  $C \cdot L_p$ :

$$k_e/J = L_p p' N' / 60 a' = C L_p \Rightarrow C = p' N' / 60 a' \quad (5)$$

Vrednosti veličine  $C \cdot L_p$  za tri različite vrednosti pobudne struje su:

$$C L_{p,J=0,6A} = k_{e,J=0,6A} / J = 0,084 / 0,6 = 0,14$$

$$C L_{p,J=0,5A} = k_{e,J=0,5A} / J = 0,075 / 0,5 = 0,15$$

$$C L_{p,J=0,4A} = k_{e,J=0,4A} / J = 0,063 / 0,4 = 0,1575$$

Dobijene vrednosti ukazuju na činjenicu da se sa povećanjem pobude ne dobija srazmerna vrednost magnetnog fluksa i da mašina ima nelinearnu karakteristiku magnećenja.

#### IV. KARAKTERISTIKE MOTORA JSS

##### A. Određivanje konstante EMS motora JSS – $k_e$

Prilikom snimanja mehaničke karakteristike motora JSS pomoću akvizicione opreme merene su sledeće veličine: pobudna struja –  $J$ , struja opterećenja –  $I$ , napon tahogeneratora –  $U_{th}$ , moment merenog pomoću merača momenta –  $M_{mer}$  i moment dobijen na osnovu merene vrednosti struje EMK –  $M_k$ .

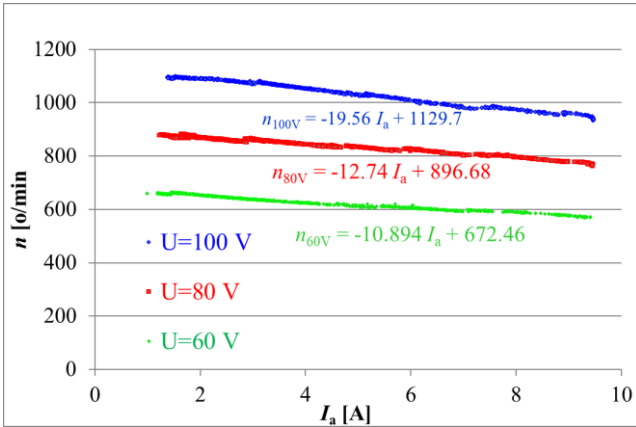
Izvršena su merenja pri promeni:

- Napona napajanja:  $U=100, 80$  i  $60$  V
- Dodate otpornosti u kolu indukta:  $R_{dod}=0, 15, 27 \Omega$
- Pobudne struje:  $J=0,6, 0,5$  i  $0,4$  A

Svi rezultati su obrađeni i prikazani grafički u nastavku rada.

##### a) Promena napona, pobudna struja $J=0,6$ A

Izmerene vrednosti brzine u funkciji struje indukta, za tri različita napona i pri konstantnoj struji pobude date su na slici 4.



Sl. 4. Zavisnost napona motora od struje opterećenja pri različitim vrednostima priključnog napona

Analički izraz zavisnosti brzine motora od struje opterećenja je:

$$n = f(I_a) = n_0 - R_a I_a / k_e = U / k_e - R_a I_a / k_e \quad (6)$$

odakle se na osnovu interpoliranih pravih čiji su izrazi prikazani na slici 4 dobija konstanta EMS:

$$k_{e, U=100V} = 100/1129,7 = 0,088519 \approx \underline{0,089 \text{ Vmin}}$$

$$k_{e, U=80V} = 80/896,68 = 0,089218 \approx \underline{0,089 \text{ Vmin}}$$

$$k_{e, U=60V} = 60/672,46 = 0,089224 \approx \underline{0,089 \text{ Vmin}}$$

##### b) Dodavanje otpora u kolo indukta, $U=100$ V, $J=0,6$ A

Izmerene vrednosti brzine u funkciji struje indukta, za tri različite vrednosti dodatih otpora u kolo indukta, pri konstantnom naponu i struji pobude date su na slici 5.

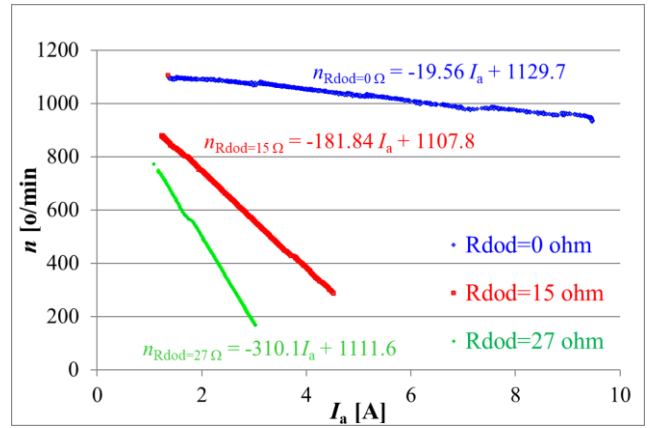
Iz prikazanih interpolacionih funkcija (slika 5) može se odrediti konstanta EMS:

$$k_{e, R_{dod}=0\Omega} = 100/1129,7 = 0,08852 \approx \underline{0,089 \text{ Vmin}}$$

$$k_{e, R_{dod}=15\Omega} = 100/1107,8 = 0,09027 \approx \underline{0,09 \text{ Vmin}}$$

$$k_{e, R_{dod}=27\Omega} = 100/1111,6 = 0,08996 \approx \underline{0,09 \text{ Vmin}}$$

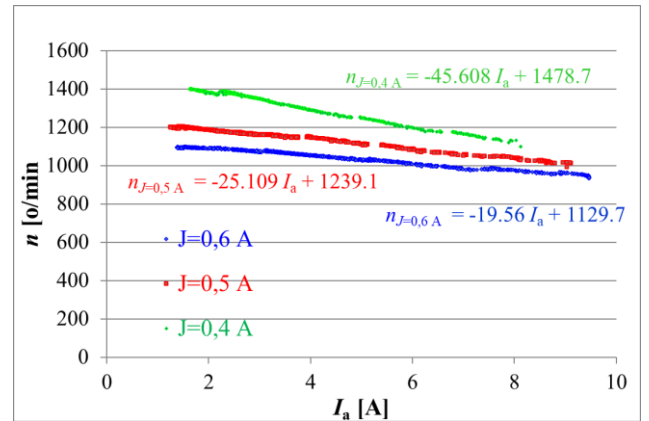
Dobijene vrednosti potvrđuju da konstanta EMS ne zavisi od dodatke vrednosti otpora u kolo indukta. Ove tri podjednake vrednosti potvrđuju tačnost izvršenog merenja.



Sl. 5. Zavisnost napona motora od struje opterećenja pri različitim vrednostima dodatke otpornosti u kolo indukta

##### c) Promena pobudne struje, $U=100$ V

Izmerene vrednosti brzine u funkciji struje indukta, za tri različite vrednosti struje pobude i pri konstantnom naponu date su na slici 6.



Sl. 6. Zavisnost napona motora od struje opterećenja pri različitim vrednostima pobudne struje

Na osnovu dobijenih interpolacionih pravih dobijaju se sledeće vrednosti konstante EMS:

$$k_{e, J=0,6A} = 100/1129,7 = 0,088519 \approx \underline{0,089 \text{ Vmin}}$$

$$k_{e, J=0,5A} = 100/1239,1 = 0,08070 \approx \underline{0,081 \text{ Vmin}}$$

$$k_{e, J=0,4A} = 100/1478,7 = 0,06763 \approx \underline{0,068 \text{ Vmin}}$$

Iz izračunatih vrednosti može se primetiti da sa povećanjem pobudne struje se povećava i konstantna EMS motora pošto je direktno srazmerna sa magnetnim fluksom koji stvara pobuda. Ako se ova konstantna podeli sa pobudnom strujom dobija se vrednost srazmerna sa induktivnošću pobudnog namotaja:

$$CL_{p, J=0,6A} = k_{e, J=0,6A} / J = 0,089 / 0,6 = 0,148$$

$$CL_{p, J=0,5A} = k_{e, J=0,5A} / J = 0,081 / 0,5 = 0,162$$

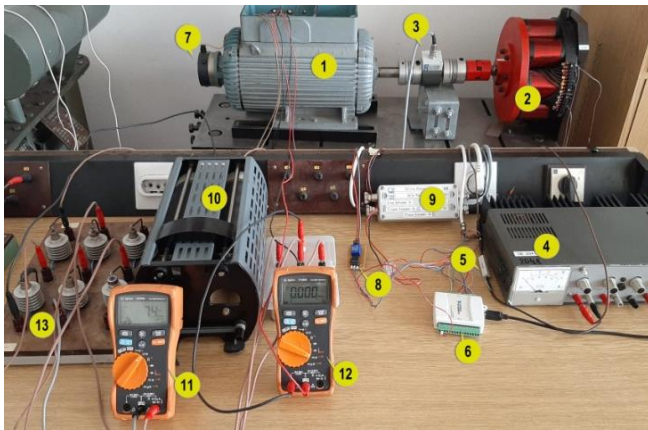
$$CL_{p, J=0,4A} = k_{e, J=0,4A} / J = 0,068 / 0,4 = 0,17$$

## B. Određivanje konstante momenta motora JSS – $k_M$

Za određivanje konstante momenta jednosmernog motora neophodno je obezbediti što tačnije merenje momenta. Ono je izvršeno na dva načina:

- Pomoću merača momenta i
- Pomoću baždarene EMK [9].

Na slici 7 prikazana oprema korišćena za realizaciju snimanja mehaničkih karakteristika motora JSS. Motor JSS (1) je spregnut sa EMK (2) preko merača momenta HBM T22/50NM (3) pomoću kog se direktno meri moment. EMK se napaja sa izvora JSS (4) čija struja određuje kočni moment. Struja kočenja je merena pomoću šant otpornika od  $10 \Omega$  (5). Na akvizicionu karticu NI 6009 (6) povezani su merni (naponski) signali sa tahogeneratora (7) za merenje brzine, zatim sa senzora Ametes CS10A-02 (8) za merenje struje indukta, sa priključne kutije merača momenta (9) za vrednost momenta, i sa šant otpornika za merenje struje kočenja (5). Od ostale opreme, na slici 7 prikazani su: promenljivi otpornik dodavan u kolo indukta (10), voltmetar za merenje napona napajanja motora JSS (11), ampermetar (12) za merenje struje pobude i ispravljačko kolo (13) za napajanje kola indukta.



Sl. 7. Oprema korišćena za merenje mehaničke karakteristike motora JSS

Povezivanjem na akvizicionu karticu, izvršeno je podešavanje analognih naponskih ulaza u okviru softvera LabVIEW, nakon čega je kreirana aplikacija za snimanje signala.

Pored direktnog merenja elektromagnetnog momenta pomoću HBM merača momenta iskorišćena je i EMK koja je imala dvostruku funkciju:

- da se pomoću nje kontrolisano opterećuje motor JSS, i
- da se pomoću poznate karakteristike EMK dođe do vrednosti elektromagnetnog momenta motora znajući analitičku zavisnost kočnog momenta u funkciji brzine obrtanja diska i struje kočnice [9]:

$$M_k = f(n) = A \cdot e^{(B \cdot n)} + C \cdot e^{(D \cdot n)} \quad (7)$$

$$\begin{aligned} A &= A_1 \cdot I_k^3 + A_2 \cdot I_k^2 + A_3 \cdot I_k + A_4 \\ B &= B_1 \cdot I_k^3 + B_2 \cdot I_k^2 + B_3 \cdot I_k + B_4 \\ C &= C_1 \cdot I_k^3 + C_2 \cdot I_k^2 + C_3 \cdot I_k + C_4 \\ D &= D_1 \cdot I_k^3 + D_2 \cdot I_k^2 + D_3 \cdot I_k + D_4 \end{aligned} \quad (8)$$

Izračunate vrednosti koeficijenta polinoma napisane u matricnom obliku za određivanje kočnog momenta kočnice iznose [9]:

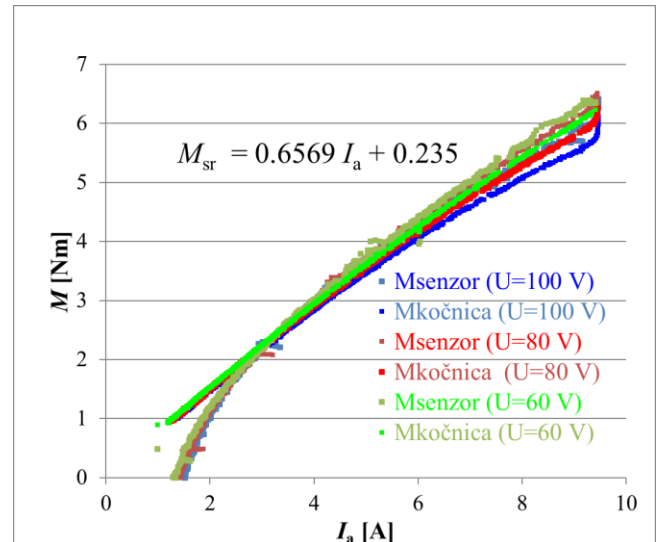
$$\begin{bmatrix} A_1 & B_1 & C_1 & D_1 \\ A_2 & B_2 & C_2 & D_2 \\ A_3 & B_3 & C_3 & D_3 \\ A_4 & B_4 & C_4 & D_4 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} -4,741 & -0,003162 & 3,528 & -0,03787 \\ 26,41 & 0,007258 & -24,95 & 0,01937 \\ 2,245 & -0,007258 & -2,747 & 0,004357 \\ -0,2562 & 0,001099 & 0,3187 & -0,0072 \end{bmatrix}$$

Pomoću datih koeficijenata dobijaju se mehaničke karakteristike za bilo koju struju kočenja iz mernog opsega brzine obrtanja kočnice.

Rezultati merenja elektromagnetnog momenta pomoću merača momenta ( $M_{\text{senzor}}$ ) i posredno – preko poznatih parametara EMK ( $M_{\text{kočnica}}$ ) su prikazani na slikama:

- a) promeni napona, slika 8
- b) dodavanje otpora u kolo indukta, slika 9, i
- c) promeni pobudne struje, slika 10.

a) Promena napona, pobudna struja  $J=0,6 \text{ A}$



Sl. 8. Zavisnost momenta motora od struje opterećenja pri različitim vrednostima priključnog napona

Na osnovu grafički prikazanih vrednosti momenta (slika 8) za tri različita napona napajanja dobijena je srednja vrednost funkcije mehaničke karakteristike. Iz izraza za moment:

$$M = k_M I_a \Rightarrow k_M = M / I_a \quad (9)$$

Dobijena je srednja vrednost konstante EMS koja iznosi

$$k_{M, sr} = 0,6569.$$

Analizirajući prikazane vrednosti izmerenog momenta može se zaključiti sledeće:

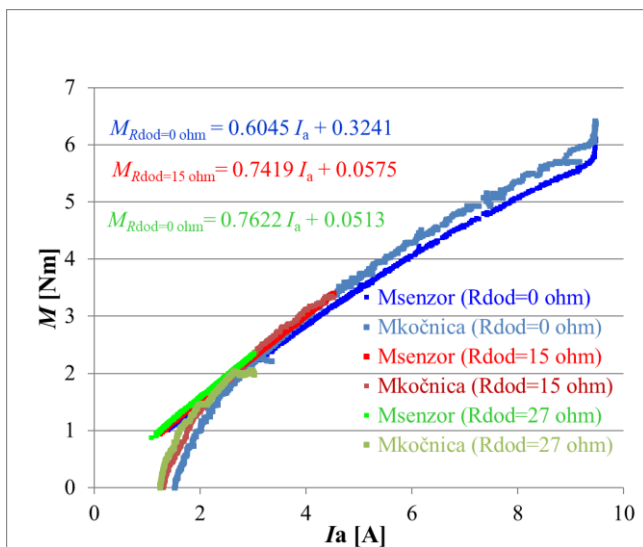
- Dobijeni rezultati pokazuju zadovoljavajuća poklapanja između rezultata merenja elektromagnetnog momenta pomoću merača momenta i posredno preko EMK. Time je još jednom potvrđena zadovoljavajuća tačnost posredno izračunate vrednosti momenta preko brzine obrtanja i struje kočnice;

- Vrednost promenljivog priključnog napona nije ni trebala da utiče na oblik dobijenih krivih, kao što i prikazane krive pokazuju;
- Vrednosti momenata dobijenih pomoću EMK za male vrednosti struja odstupaju od linearnog oblika, što se i očekivalo znajući, ranije utvrđen, merni opseg kočnice [9];
- Može se uočiti da krive ne polaze iz koordinatnog početka, već da imaju određenu vrednost momenta za struju indukta  $I_a=0$ . Ova vrednost ne može da se dobije merenjem, pošto u režimu praznog hoda, tj. neopterećene mašine, postoji određena struja indukta kojom se pokrivaju gubici usled obrtanja.

Sve su to razlozi zbog kojih postoji neslaganje između, na početku rada izračunate vrednosti konstante momenta motora i izmerenih vrednosti momenta. Zaključak je da se za motor JSS ne može primeniti zavisnost  $M=k_m I$  i da naznačene vrednosti važe za naznačene radne režime.

Neslaganja između naznačenih i merenih vrednosti se mogu tumačiti i činjenicom da je mašina bila remontovana, pa se moglo očekivati i da su joj fabrički naznačene vrednosti promenjene.

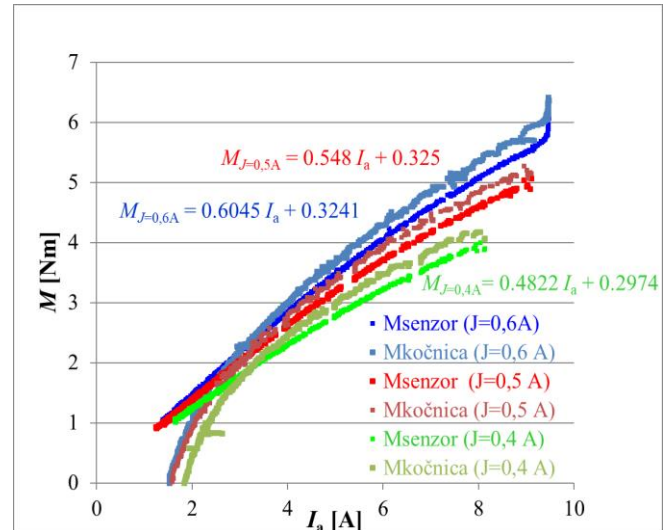
b) Dodavanjem otpora u kolo indukta,  $U=100\text{ V}$ ,  $J=0,6\text{ A}$



Sl. 9. Zavisnost momenta motora od struje opterećenja pri različitim vrednostima dodane otpornosti u kolo indukta

Dobijene vrednosti konstante momenta motora JSS za dodate vrednosti otpornosti u kolo indukta (slika 9) pokazuju da su koeficijenti za slučaj dodavane otpornosti u kolo indukta približne vrednosti  $k_M=0,75\text{ Nm/A}$  što se poklapa sa, na početku rada, izračunatom konstantom momenta na osnovu naznačenih vrednosti ( $0,78\text{ Nm/A}$ ). Ovo poklapanje ukazuje da je potrebno posebno obratiti pažnju na otpornost kola indukta i izvršiti dodatna ispitivanja, što će biti tema budućeg rada.

c) Promena pobudne struje,  $U=100\text{ V}$



Sl. 10. Zavisnost momenta motora od struje opterećenja pri različitim vrednostima pobudne struje

Sa grafika datih na slici 10 određene su vrednosti koeficijenta pravca mehaničkih karakteristika koje za pojedine pobudne struje iznose:

$$k_{M, J=0,6\text{ A}} = 0,6045$$

$$k_{M, J=0,5\text{ A}} = 0,548$$

$$k_{M, J=0,4\text{ A}} = 0,4822$$

pomoću kojih se može odrediti i induktivnost pobude:

$$L_p, J=0,6\text{ A} \sim k_{M, J=0,6\text{ A}} / 9,55J = 0,6045 / 9,55 \cdot 0,6 = 0,105$$

$$L_p, J=0,5\text{ A} \sim k_{M, J=0,5\text{ A}} / 9,55J = 0,548 / 9,55 \cdot 0,5 = 0,116$$

$$L_p, J=0,4\text{ A} \sim k_{M, J=0,4\text{ A}} / 9,55J = 0,4822 / 9,55 \cdot 0,4 = 0,126.$$

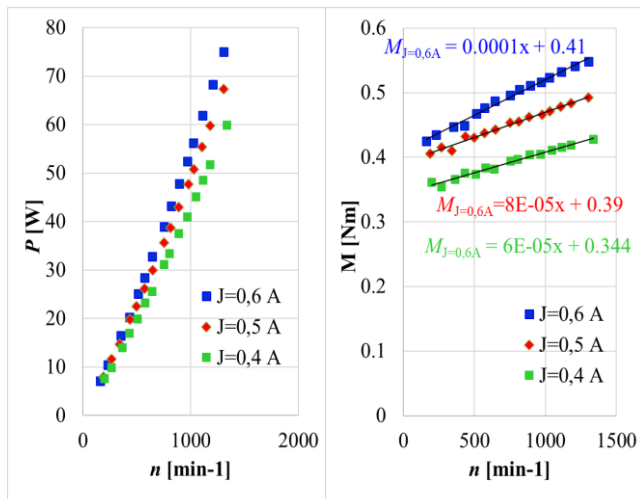
Ovako dobijene induktivnosti potvrđuju činjenicu da je magnetno kolo mašine JSS nelinearno i da sa povećanjem pobude se smanjuje induktivnost (mašina ulazi u zasićenje).

Pošto su dobijene procenjene vrednosti induktivnosti na tri različita načina: preko karakteristike praznog hoda, mehaničke karakteristike  $n=f(I_a)$  i  $n=f(M)$ , sve vrednosti su zajedno prikazane u tabeli I.

TABELA I  
INDUKTIVNOSTI POBUDNOG NAMOTAJA

$C L_p$ [H]	$J=0,6\text{ A}$	$J=0,5\text{ A}$	$J=0,4\text{ A}$
K-ka $U_0=f(J)$	0,14	0,15	0,16
K-ka $n=f(I_a)$	0,15	0,16	0,17
K-ka $M=f(I_a)$	0,11	0,12	0,13

Na slici 11 prikazane su zavisnosti gubitaka i momenta usled obrtanja za tri različite vrednosti pobudne struje. Čime je potvrđeno da se zavisnost elektromagnetnog momenta ne može izraziti kao linearna funkcija struje indukta, već ima složeniji oblik.



Sl. 11. Snimljene karakteristike gubitaka usled obrtanja i momenta usled obrtanja za različite vrednosti pobudne struje

## V. ZAKLJUČAK

U radu je izvršena identifikacija parametara mašine JSS posle izvršenog remonta. Najznačajniji parametar koji je trebalo eksperimentalnim putem dobiti i proveriti u odnosu na naznačene vrednosti je konstanta EMS i konstanta momenta  $k_M$ . Ona su izračunate obrađujući rezultate merenja u ogledu praznog hoda i ogledu snimanja mehaničke karakteristike motora JSS sa nezavisnom pobudom, za 3 načina prilagođenja karakteristike motora (promenom napona, slabljenjem polja i dodavanjem otpornosti).

Utvrđeno je da postoje neslaganja između, na početku rada izračunate vrednosti konstante EMS i konstante momenta motora jednosmerne struje preko naznačenih parametara i izmerenih vrednosti. U radu je potvrđeno da se moment motora ne može za ceo radni opseg predstaviti kao linearna zavisnost struje opterećenja ( $M \neq k_M I_a$ ) i da se preciznija zavisnost dobija uzimanjem u obzir gubitaka usled obrtanja i momenta koji postoji i u režimu praznog hoda.

Takođe, u radu je potvrđena tačnost postupka određivanja momenta motora preko parametara elektromagnetne kočnice (struje i brzine) kojom se kontrolisano opterećuje.

## ZAHVALNICA

Istraživanja prezentovana u ovom radu su delimično finansirana sredstvima Ministarstva prosvete, nauke i tehnološkog razvoja RS, ugovor br. 451-03-9/2021-14/200132 čiji je realizator Fakultet tehničkih nauka u Čačku

– Univerziteta u Kragujevcu.

## LITERATURA

- [1] Sajt Laboratorije za električne mašine, pogone i automatiku – FTN u Čačku: [www.empa.ftn.kg.ac.rs](http://www.empa.ftn.kg.ac.rs)
- [2] Sajt predmeta Ispitivanje električnih mašina – Laboratorija EMPA, FTN u Čačku: <http://www.empa.ftn.kg.ac.rs/osnovne-studije/ispitivanje-elektricnih-masina.php>
- [3] M. Rosić, S. Antić, M. Bjekić, V. Vujičić, “Educational laboratory setup of DC motor cascade control based on dSPACE1104 platform”, Proceedings of 5th International Conference on Renewable Electrical Power Sources - ICREPS2017, vol. 5 no. 1, pp. 213-222, DOI:10.24094/mkoiee.017.5.1.213, Belgrade, Serbia, 12-13 October, 2017.
- [4] D. T. Liem and K. K. Ahn, "DC motor parameters identification and sensorless torque estimation using Fuzzy PID," 2012 12th International Conference on Control, Automation and Systems, 2012, pp. 76-81.
- [5] S. S. Saab, R. Abi Kaed-Bey, “Parameter Identification of a DC Motor: An Experimental Approach”, ICECS 2001. 8th IEEE International Conference on Electronics, Circuits and Systems. Malta, 2-5 Sept. 2001.
- [6] Spisak autora i programa koji su kreirali softvere u GEOGEBRI iz oblasti Električne mašine i pogoni. Dostupno na: [www.empa.ftn.kg.ac.rs/razno/GEOGEBRA\\_ELEKTRICNE\\_MASIN\\_E.html](http://www.empa.ftn.kg.ac.rs/razno/GEOGEBRA_ELEKTRICNE_MASIN_E.html)
- [7] M. Bjekic, Kreirani programi u GEOGEBRI. Dostupno na: <https://www.geogebra.org/u/mbjekic>
- [8] DC motor separate excited, <https://www.geogebra.org/m/m2mwpeja>  
M. Bjekić, M. Božić, M. Rosić, M. Šućurović, „Elektromagnetna kočnica sa jednim obrtnim diskom za laboratorijska ispitivanja električnih motora”, Tehničko rešenje, Fakultet tehničkih nauka u Čačku, 2015. Dostupno na: [http://www.ftn.kg.ac.rs/docs/resenja/EM\\_kocnica.pdf](http://www.ftn.kg.ac.rs/docs/resenja/EM_kocnica.pdf)

## ABSTRACT

The paper describes identification process of separately excited DC machine parameters after the machine repair was performed. Mechanical and no load characteristics of DC machine are recorded with different values of armature voltages, excitation current and added resistance in the armature circuit. Rotational and ventilation losses of the machine are determined as well. Experimental results are confirmed in two ways: using torque sensor and using calibrated electromechanical brake. Machine EMF and torque coefficients are compared with previous rated machine values after which a proper discussion of obtained differences was given.

## Separately excited DC machine parameters identification after the machine repair

M. Bjekic, V. Vujicic, M. Rosic, and M. Sucurovic