

## OBRTNI MOMENT VUČNIH MOTORA TIRISTORSKIH LOKOMOTIVA PRIMENJENIH NA ŽELEZNICAMA SRBIJE I CRNE GORE

Branislav S. Gavrilović<sup>1</sup>, Zoran Milićević<sup>2</sup>, "Železnice Srbije" - Beograd

**Sadržaj** – U radu je dat postupak određivanja složenoperiodične funkcije obrtnog momenta jednosmernog vučnog elektromotora kod vodećih serija tiristorskih lokomotiva na Železnicama Srbije i Crne Gore. Na osnovu dobijenih rezultata izvedeni su zaključci o mogućnosti pojave rezonanse lokomotivskih vratila u uslovima visokog proklizavanja odnosno efikasnost primenjene protivklizne zaštite.

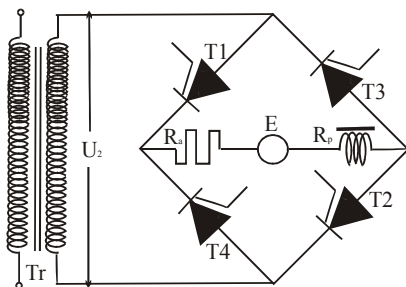
### 1. UVOD

Jedan od složenih problema eksploatacije vučnih vozila je pojava naprslina i lomova pogonskih lokomotivskih vratila. Kao glavni uzrok navedene pojave, pored ostalih, više ili manje važnih uticajnih faktora, utvrđen je rad lokomotivskih vratila u uslovima visokog proklizavanja, tj. kada se vratila kao oscilujućem sistemu dozira više energije od one koja se adhezijom troši [1]. Zbog navedene mogućnosti u ovom radu se analizira opasnost pojave rezonanse lokomotivskih vratila u uslovima visokog proklizavanja odnosno efikasnost primenjene protivklizne zaštite na tiristorskim lokomotiva Železnice Srbije i Crne Gore.

### 2. OBRTNI MOMENT VUČNOG MOTORA

Kod tiristorskih elektrovučnih vozila na Železnicama Srbije i Crne Gore (serija JŽ 461 i JŽ 444), a koja koriste vučne motore jednosmerne struje sa rednom pobudom, monofazna električna energija se preko glavnog transformatora i energetskog pretvarača, koga čini tiristorski ispravljač i filter, dovodi do jednosmerne vučne elektromotora.

Razmotrimo situaciju u režimu električne vuče koja postoji u delu strujnih kola u kome se naizmenična struja ispravlja pomoću tiristorskih ispravljača vezanih u Grečov spoj kao na slici 1 [2].



Slika 1: Principijelna šema asimetričnog poluupravljivog ispravljača

Ako se sa  $U_2$  označi napon na sekundarnim krajevima glavnog lokomotivskog transformatora, srednja vrednost ispravljenog napona asimetričnog poluupravljivog ispravljača data je izrazom [2]

$$U_{sr} = \frac{1}{\pi} \int_0^{\pi-\theta} (-\sqrt{2}U_2) \sin \omega t \cdot d\omega t + \frac{1}{\pi} \int_{\pi-(\theta-\mu)}^{\pi} (\sqrt{2}U_2) \sin \omega t \cdot d\omega t \quad \dots(1)$$

gde je:  $\theta$  - ugao paljenja tiristora,

$\mu$  - ugao komutacije koji zavisi od trenutne vrednosti sekundarnog napona glavnog transformatora u trenutku deblokade tiristora. Raste sa opterećenjem tiristora.

Integraljenjem poslednje jednačine, srednja vrednost ispravljenog napona u funkciji od ugla paljenja tiristora data je izrazom:

$$U_{sr} = \frac{U_2}{\pi} \sqrt{2} [\cos(\pi - \theta) - 1] + \frac{U_2}{\pi} \sqrt{2} [1 - \cos(\pi - \theta + \mu)] \quad \dots(2)$$

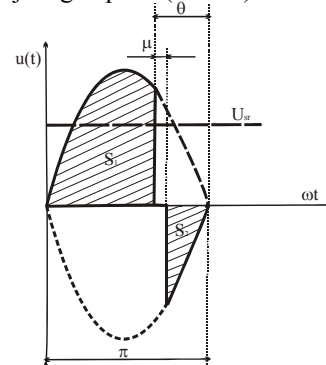
Kako je  $\cos(\pi - \theta) = -\cos \theta$ , a  $\cos(\pi - \theta + \mu) = -\cos(\theta - \mu)$  ... (3) to se može pisati

$$U_{sr} = -\frac{\sqrt{2}U_2}{\pi} [\cos \theta + \cos(\theta - \mu)] \quad \dots(4)$$

ili

$$U_{sr} = 0,9U_2 \left[ \frac{\cos \theta + \cos(\theta - \mu)}{2} \right] \quad \dots(5)$$

Promenom ugla paljenja tiristora menja se i srednja vrednost ispravljenog napona (slika 2).



Slika 2: Zavisnost srednje vrednosti ispravljenog napona od ugla paljenja tiristora

Prema predhodnoj slici, ispravljeni napon je složenoperiodična funkcija vremena koja zadovoljava Dirichlet-ove uslove u toku svake svoje periode  $T$  [3]. Zbog toga se funkcija ispravljenog napona  $u(t) = u(t + T)$  može razložiti u Fourier-ov red [3]:

$$u(t) = C_0 + C_1 \cos(\omega t + \theta_1) + C_2 \cos(2\omega t + \theta_2) + \dots \quad \dots(6)$$

gde je  $\omega = 2\pi/T$  osnovna kružna frekvencija, a  $T$  je perioda složene periodične funkcije ispravljenog napona  $u(t)$ .

U izrazu (6) član  $C_0$  je nulti harmonik ili jednosmerni član,  $C_1 \cos(\omega t + \theta_1)$  je prvi ili osnovni harmonik,  $C_2 \cos(2\omega t + \theta_2)$  drugi harmonik i u opštem slučaju  $C_k \cos(k\omega t + \theta_k)$  k-ti harmonik napona  $u(t)$ .

Red (6) se razvijanjem kosinusa zbira može prevesti i na oblik [3]

$$u(t) = C_0 + A_1 \sin \omega t + A_2 \sin 2\omega t + \dots + A_k \sin k\omega t + \dots$$

$$+ B_1 \cos \omega t + B_2 \cos 2\omega t + \dots + B_k \cos k\omega t + \dots$$

... (7)

gde su

$$A_k = -C_k \sin(\theta_k) \text{ i } B_k = C_k \cos(\theta_k) \quad \dots(8)$$

Kada je poznat analitički izraz za funkciju  $u(t)$  za celu periodu  $T$ , jednosmerni član  $C_0$  i koeficijenti  $A_k$  i  $B_k$  određeni su sledećim izrazima [3]

$$C_0 = \frac{1}{T} \int_{\tau}^{\tau+T} u(t) dt$$

... (9)

$$A_k = \frac{2}{T} \int_{\tau}^{\tau+T} u(t) \sin k\omega t dt$$

... (10)

$$B_k = \frac{2}{T} \int_{\tau}^{\tau+T} u(t) \cos k\omega t dt$$

... (11)

Kod tiristoriskih lokomotiva sa asimetričnim poluupravljivim ispravljačem se promenom ugla paljenja  $\theta$  i komutacije  $\mu$ , složenoperiodična funkcija ispravljenog napona je parna [2].

Parne funkcije  $u(t)$  zadovoljavaju izraz

$$u(-t) = u(t), \quad \forall t$$

... (12)

Parna funkcija je simetrična u odnosu na ordinatnu osu. Iz trigonometrijskog oblika Fourierovog reda slede ove relacije:

$$u(t) = C_0 + \sum_{k=1}^{\infty} A_k \sin k\omega t + \sum_{k=1}^{\infty} B_k \cos k\omega t$$

... (13)

i

$$u(-t) = C_0 - \sum_{k=1}^{\infty} A_k \sin k\omega t + \sum_{k=1}^{\infty} B_k \cos k\omega t$$

... (14)

Da bi bio ostvaren uslov  $u(-t) = u(t)$ , očigledno je iz predhodnih relacija da mora biti

$$A_k = 0, \quad \forall k \quad \dots (15)$$

pa će Fourierov red u slučaju parne složenoperiodične funkcije biti sledećeg oblika

$$u(t) = C_0 + \sum_{k=1}^{\infty} B_k \cos k\omega t$$

... (16)

Pošto funkcija  $u(t)$  u ovom slučaju ima istu vrednost za prvu polovinu periode kao i za drugu, koeficijenti  $C_0$  i  $B_k$  mogu se odrediti iz sledećih relacija

$$C_0 = \frac{1}{T} \int_0^T u(t) dt = \frac{2}{T} \int_0^{T/2} u(t) dt$$

... (17)

$$B_k = \frac{2}{T} \int_0^{T/2} u(t) \cos k\omega t dt = \frac{4}{T} \int_0^{T/2} u(t) \cos k\omega t dt \quad \dots (18)$$

Veliki broj do sada izvršenih merenja na različitim serijama tiristoriskih elektrovučnih vozila pokazuju da se složenoperiodični ispravljen napon  $u(t)$  može opisati samo sa jednosmerni član  $C_0$  i drugim harmonik  $B_1 \cos 2\omega t$ . Ako se uporede izrazi (4) i (16) ispravljeni napon se može pisati i kao

$$u(t) = C_0 + \sum_{k=1}^{\infty} B_k \cos k\omega t \approx C_0 + B_2 \cos 2\omega t = U_{sr} + \alpha U_{sr} \cos 2\omega t \quad \dots (19)$$

$$= U_{sr}(1 + \alpha \cos 2\omega t) = 0,9U_2 \left[ \frac{\cos \theta + \cos(\theta - \mu)}{2} \right] (1 + \alpha \cos 2\omega t)$$

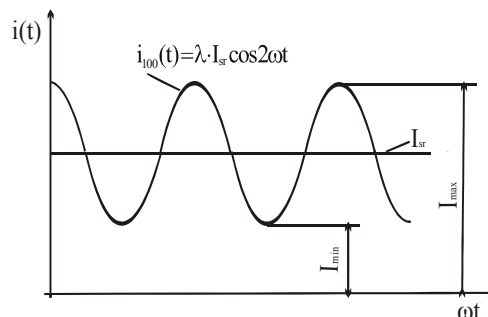
19)

gde je:  $\alpha$  - koeficijent koji zavisi od ugla paljenja tiristora  $\theta$ . Za ugao paljenja  $\theta = 0$ ,  $\alpha = 0,667$ .

Pod dejstvom ovako ispravljenog napona, ako se zanemari fazno pomeranje kroz namotaje rotora vučnog motora, potećice ispravljena struja oblika

$$i(t) = I_{sr}(1 + \lambda \cos 2\omega t) \quad \dots (20)$$

Dijagram ispravljene struje prikazan je na slici 3.



Slika 3: Dijagram ispravljene struje

Kako se iz slike 3 vidi, ispravljena struja je pulsirajuća i pulsira između vrednosti  $I_{sr} - I_1$  i  $I_{sr} + I_1$ . Zbog toga uveden je uvođen stepen talasnosti  $\lambda$ , koji predstavlja odnos

$$\lambda = \frac{I_{max} - I_{min}}{I_{max} + I_{min}} \quad \dots (21)$$

Kako je

$$\frac{I_{max} - I_{min}}{2} = I_1, \quad \dots (22)$$

$$\frac{I_{max} + I_{min}}{2} = I_{sr} \quad \dots (23)$$

$$\lambda = \frac{I_1}{I_{sr}} \quad \dots (24)$$

Primenom prigušnice povezane na red sa vučnim motorima stepen talasnosti kod analiziranih tiristoriskih lokomotiva se svodi na vrednosti od 0,2 do 0,3. Za modifikovane tiristorске lokomotive serije JŽ 444 i JŽ 461 usvojiću da je stepen talasnosti:  $\lambda = 0,25$  [2, 4].

Srednja vrednost ispravljene struje  $I_{sr}$  za motorni režim rada može se odrediti na osnovu II Kirhofovog zakona

$$U_{sr} = E + (R_a + R_p) I_{sr} \Rightarrow$$

$$I_{sr} = \frac{U_{sr} - E}{R_a + R_p} = \frac{U_{sr} - c_1 \cdot \phi \cdot n}{R_a + R_p} \quad \dots (25)$$

gde je:

$E$  – kontraelektromotorna sila

$R_a$  – aktivna omska otpornost armature motora (otpornost namotaja rotora uvećana za otpornost četkica, namotaja pobude i pomoćnih polova);

$R_p$  – aktivna omska otpornost prigušnice;

$c_1$  – fizička konstanta motora;

$\phi$  – magnetni fluks motora;

$n$  – brzina obrtanja rotora motora;

$U_{sr}$  – srednja vrednost usmerenog napona, određena izrazom (5).

Analizom izraza (5), (20) i (25) može se zaključiti da srednja vrednost ispravljene struje kroz namotaje indukta i induktora vučnog motora može se menjati delujući na:

- veličinu napona na sekundaru glavnog transformatora pomoću stepenastog prebacivača, i
- ugao paljenja  $\theta$ , utičući na regulaciju upravljačke rešetke tiristora.

Kod tiristorskih lokomotiva primenjenih na Železnicama Srbije i Crne Gore, napon na sekundaru glavnog transformatora ( $U_2$ ) može se menjati u skokovima od 30 V od 58 do 1265 V. Promenom ugla paljenja  $\theta$  pri nepromenjenoj vrednosti napona  $U_2$ , takođe se mogu dobiti različite promene napona  $U_{sr}$  (pozitivne, nulte i negativne vrednosti). Vučni motori su tipa LJE 108-2 ("ASEA") ili ISVK 644-8 ("Rade Končar") predviđeni za nominalni napon 770V i struju 1180A. Maksimalno dozvoljen napon, jednočasovna struja i brzina ovih motora respektivno je: 870V, 1250A i  $1920 \text{ min}^{-1}$  [5, 6].

Posmatrajući čisto mehanički, pulzirajuća struja opisana izrazom (20), u režimima električne vuče je glavni faktor stvaranja obrtnog momenta na njihovom vratilu. Obrtni moment na vratilu elektromotora dat je izrazom [2, 5, 6]

$$m_m = k_m \cdot \phi_m(t) \cdot i(t) \quad \dots (26)$$

gde je:  $k_m$  – fizička konstanta motora;

$\phi_m(t)$  – magnetni fluks kao posledica proticanja struje  $i(t)$  kroz pobudni namotaj motora;

$i(t)$  – ispravljena struja data izrazom (20).

Pošto vučni motori treba da rade u području linearne zavisnosti krive magnećenja, ima se da je [2, 4]

$$\phi_m = k_{m1} \cdot i(t) \quad (27)$$

pa je

$$m_m = k_0 \cdot i^2(t) \quad \dots (28)$$

gde je:  $k_0 = k_m \cdot k_{m1}$  - opšta konstanta vučnog motora.

Na osnovu izraza (20) obrtni moment na vratilu elektromotora je

$$\begin{aligned} m_m &= k_0 \cdot i_0^2(t) = k_0 \cdot [I_{sr}(1 + \lambda \cos 2\omega t)]^2 = \\ &k_0 \cdot I_{sr}^2 \left(1 + \frac{1}{2} \cos 2\omega t + \frac{1}{16} \cos^2 2\omega t\right) = \\ &k_0 \cdot I_{sr}^2 \left(1 + \frac{1}{2} \cos 2\omega t + \frac{1}{16} \cdot \frac{1 + \cos 4\omega t}{2}\right) = \end{aligned} \quad \dots (29)$$

$$\begin{aligned} &\frac{33}{32} \cdot k_0 \cdot I_{sr}^2 \left(1 + \frac{16}{33} \cos 2\omega t + \frac{1}{33} \cos 4\omega t\right) = \\ &M_{sr} (1 + a_1 \cos 2\omega t + a_2 \cos 4\omega t) \end{aligned}$$

gde je:  $M_{sr} = \frac{33}{32} \cdot k_0 \cdot I_{sr}^2$  - srednja vrednost obrtnog momenta vučnog motora;

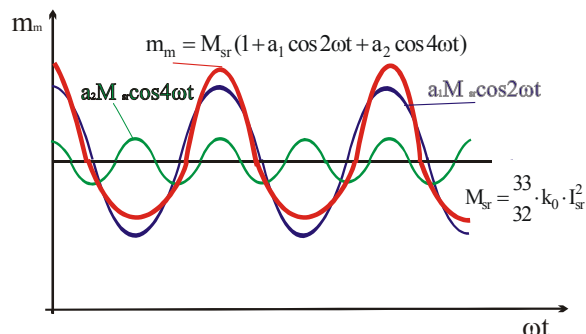
$a_1 = \frac{16}{33}$  - faktor amplitude harmonika kružne učestanosti  $2\omega = 100\pi = 314 \text{ s}^{-1}$ ;

$a_2 = \frac{1}{33}$  - faktor amplitude frekvencije  $4\omega = 200\pi = 628 \text{ s}^{-1}$ .

Efektivnu vrednost pulsacionog obrtnog momenta na vratilu vučnog motora  $M$  je

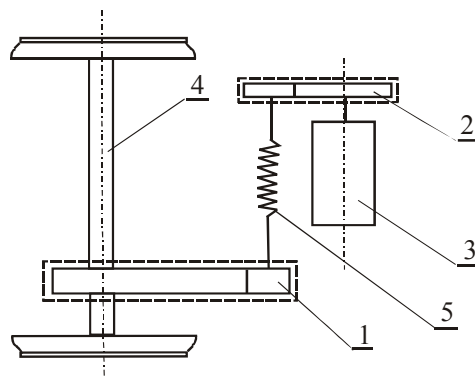
$$\begin{aligned} M &= \sqrt{M_{sr}^2 + a_1^2 \cdot M_{sr}^2 + a_2^2 M_{sr}^2} = \\ &\sqrt{M_{sr}^2 \cdot (1 + a_1^2 + a_2^2)} = M_{sr} \sqrt{1 + a_1^2 + a_2^2} = \\ &M_{sr} \sqrt{1 + \left(\frac{16}{33}\right)^2 + \left(\frac{1}{33}\right)^2} = \dots (30) \\ &M_{sr} \sqrt{\frac{1089 + 256 + 1}{1089}} = M_{sr} \sqrt{\frac{1346}{1089}} = 1,112 \cdot M_{sr} \end{aligned}$$

Složeneriodična funkcija vremena obrtnog momenta vučnog motora  $m_m = f(\omega t)$  predstavljena izrazom (29) prikazana je na slici 4.



Slika 4: Složeneriodična funkcija vremena obrtnog momenta vučnog motora kod tiristorskih

Kod analiziranih tiristorskih lokomotiva obrtni moment  $m_m$  preko zupčaste spojnice (pozicija 2), torzionog vratila sa elastičnom spojnicom (pozicija 5), osovinskog reduktora prenosnog odnosa  $i_r = 3,65$  (pozicija 1) i trupa vratila (pozicija 4) se prenosi na disk točka (slika 5) [4, 5, 6].



Slika 5: Šema jednomotornog pogona tipa ASEA

Obrtni moment u trupu osovine izabranog modela je:

$$m_0 = i_r \cdot m_m = i_r \cdot M_{sr} \cdot (1 + a_1 \cos 2\omega_0 t + a_2 \cos 4\omega_0 t) \quad \dots (30)$$

gde je  $\omega_0 = \omega/i_r$  - osnovna kružna frekvencija torzionih oscilacija lokomotivskog vratila ( $\omega_0 = \omega/i_r = 314/3,65 = 86,027 \text{ s}^{-1}$ ).

Dakle, u izrazu za obrtni moment na trupu osovine, pored vremenski nepromenljive komponente ( $i_r M_{sr}$ ), postoje još i dve vremenski promenljive komponente kružnih frekvencija  $2\omega_0 = 172 \text{ s}^{-1}$  i  $4\omega_0 = 344 \text{ s}^{-1}$ .

Prema rezultatima proračuna uz upotrebu metode Holzera, kružna učestanost sopstvenih slobodnih neprigušenih torzionih oscilacija opisanih lokomotivskih vratila u uslovima visokog proklizavanja iznosi od  $320$  do  $390 \text{ s}^{-1}$  [1, 4, 8]. Zbog ove činjenice realno je očekivati u uslovima visokih proklizavanja pojavu mehaničke rezonantne lokomotivskog vratila kod tiristorskih lokomotiva primenjenih na Železnicama Srbije i Crne Gore. Ovo je moguće utoliko pre što efektivna vrednost obrtnog momenta može postići vrednosti i do [5, 6]

$$M_0 = i_r \cdot M = 1,112 \cdot i_r \cdot M_{sr} = 1,112 \cdot 3,65 \cdot 800 = 3247 \text{ daNm}$$

### 3. PROTIVKLIZNA ZAŠTITA

Dakle, u uslovima visokog proklizavanja, lokomotivsko vratilo tiristorskih lokomotiva koja se koriste na Železnicama

Srbije i Crne Gore izloženo je samopobudnim torzionim oscilacijama, koje mogu izazvati, za veoma kratko vreme (od 0,5 do 2 sekunde), i do 15 puta veće dinamičke momente torzije na trupcu od onih koji su izloženi u gornjem izlaganju [1, 8].

Zbog navedenog zaključka postavlja se pitanje da li je primenjena protivklizna zaštita efikasna kako sa aspekta optimizacije athezije tako i sa aspekta minimiziranja pojave naprslina i lomova vratila.

Protivklizna zaštita na analiziranim lokomotivama kontroliše nivo vučne sile  $s$  obzirom na stanje između točkova i šina i preduzima mere zaštite najpre posipanjem peska ispred pogonskih točkova lokomotive, a zatim i obaranjem vučne sile. Zbog samog tehničkog rešenja koji koristi inertne elektropneumatske sisteme za peskarenje i stepenasti prekidač za obaranje vučne sile, trajanje samopobudnih torzionih oscilacijama u uslovima visokih proklizavanja traje duže od 2 sekunde [5, 6, 9, 10].

Zbog svega nevedenog, a da bi se obezbedio pouzdan rad vratila u uslovima visokog proklizavanja potrebno je usavršiti brzu protivkliznu zaštitu koja će biti u stanju da za 0,5 do 2 sekunde obori po intenzitetu obrtni momenat vučnog motora. Ovo i ne treba da predstavlja poseban problem jer se u svetu već primenjuje brza i pouzdana protivklizna zaštita koja radi sa athezijom u području kontrolisanog (regulisanog, programiranog) proklizavanja. Navedena zaštita može u uslovima visokog proklizavanja efikasno da smanji obrtni momenat  $m_m$  ispod kritičnih vrednosti za manje od 0,5 sekundi. Sem toga, ova zaštita omogućava povećanje iskoristivih vrednosti koeficijenta adhezije, a time bolje i pouzdanije prenošenje većih vučnih sila i vuču težih vozova na velikim usponima [11].

#### 4. ZAKLJUČAK

Obrtni momenat vučnog motora  $m_m = f(\omega t)$  je složeno-periodična funkcija vremena i predstavljena je izrazom (29). Efektivnu vrednost ovog momenta definisana je izrazom (30).

Analizom izraza (5), (20), (25), (29) i (30) može se zaključiti da efektivna vrednost obrtnog momenta vučnog motora može se menjati delujući na:

- veličinu napona na sekundaru glavnog transformatora pomoću stepenastog prebacivača, i
- ugao paljenja  $\theta$  (utičući na regulaciju upravljačke rešetke tiristora).

U uslovima visokog proklizavanja, lokomotivsko vratilo izloženo je kružnoj učestanosti sopstvenih slobodnih neprigušenih torzionih oscilacija opisanih lokomotivskih vratila i od 320 do 390  $s^{-1}$ . Zbog ove činjenice kod tiristorских lokomotiva primenjenih na Železnicama Srbije i Crne Gore u uslovima klizanja realno je očekivati pojavu naprslina i lomova vratila. Sem toga realno je očekivati i povećanu potrošnju zubaca gonjenog zupčanika reduktora prenosnog odnosa  $i_r = 3,65$ .

Zbog samog tehničkog rešenja koji koristi inertne elektropneumatske sisteme za peskarenje i stepenasti prekidač za obaranje vučne sile, trajanje samopobudnih torzionih oscilacijama u uslovima visokih proklizavanja traje nedozvoljeno dugo. Zbog navedenog razloga mora se pristupiti izboru protivklizne zaštite koja je kod klizanja u

stanju da smanji obrtni momenat  $m_m$ , a time i vučnu silu ispod vrednosti raspoložive sile athezije, za 0,5 do 2 sekunde.

Imajući u vidu da se obrtni momenat vučnog motora kod tiristorских lokomotiva u uslovima klizanja može menjati delujući na ugao paljenja  $\theta$  (tj. utičući na regulaciju upravljačke rešetke tiristora) brza i efikasna protivklizna zaštita je moguća i ako još uvek kod postojećih lokomotiva nije adekvatno realizovana.

#### LITERATURA

- [1] R. Jovanović, "Naponsko stanje lokomotivskih vratila u eksploatacionim uslovima", (doktorska disertacija), Mašinski fakultet, Beograd, 1978;
- [2] Đ. Marković, "Vučna vozila" (električni deo), Želnid, Beograd, 2000;
- [3] D. Stojanović, "Teorija električnih kola", Tehnički fakultet, Čačak, 2002.;
- [4] R. Jovanović, "Funkcija promene obrtnog momenta vučnog motora diodne lokomotive serije 441", Železnice br. 9, Beograd, 1979.;
- [5] Z. Milićević, D. Arandelović, V. Marjanović, D. Pejčić, "Električne lokomotive JŽ 441", Želnid, Beograd, 1997.;
- [6] Z. Milićević, D. Arandelović, V. Marjanović, D. Pejčić, "Električne lokomotive JŽ 461-000/100", Želnid, Beograd, 1999.;
- [7] S. Janjanin, "Utvrđivanje uzroka torzionih oscilacija pogonskog sistema lokomotiva serije 441 JŽ, simuliranjem na analognom računarskom stroju" – studija JŽ, Zagreb, 1974.;
- [8] R. Jovanović, "Iznalaženje frekvencije sopstvenih slobodnih neprigušenih torzionih oscilacija lokomotivskih vratila", Železnice 1, Beograd, 1979.;
- [9] I. Šimec, "Tiristorizacija el. lokomotiva JŽ 461", Železnice br 4, Beograd, 1991.;
- [10] I. Gršković, I. Križanović, D. Kroflin, "Suvremena rešenja i tehnologije primenjeni kod rekonstrukcije i modernizacije lokomotiva serije JŽ 441 za ŽTP Beograd", Zbornik radova sa XI naučno stručne konferencije o železnici, Želkon '04, str. 25 - 30, Niš, Oktobar 2004;
- [11] P. Despotović, N. Tojagić, "Kontrolisano proklizavanje kao mera za poboljšanje adhezije lokomotive, Železnice br. 8, 9 i 10, Beograd, 1995.

**Abstract:** In this paper we gave the procedure determining the complexity periodic functions of rotating momentum of the traction electromotors master series of the thyristor locomotives applied on to the Railway Serbia and Montenegro. Based on attained result we deduced conclusion about odds guise resonance of the driving shaft in conditions of the high slippage apropos efficiency applied the shield of slippage.

#### ROTATING MOMENTUM OF THE TRACTION ELECTROMOTOR OF THE THYRISTOR LOCOMOTIVE APPLIED ON TO THE RAILWAY SERBIA AND MONTENEGRO

Gavrilovic S. Branislav, Milićević Zoran