

UDK: 631.621.314

Originalni naučni rad  
Original scientific paper

## UTICAJ KVALITETA NAPONA NA ENERGETSKU EFIKASNOST ASINHRONIH MOTORA U POLJOPRIVREDI

Đukan Vukić<sup>1\*</sup>, Branko Radičević<sup>1</sup>, Žarko Milkić<sup>2</sup>, Nenad Floranović<sup>3</sup>,

<sup>1</sup> Univerzitet u Beogradu, Poljoprivredni fakultet, Institut za poljoprivrednu tehniku

<sup>2</sup> Univerzitet u Prištini, Fakultet tehničkih nauka, Kosovska Mitrovica

<sup>3</sup> Istraživačko-razvojni centar ALFATEC, Niš

**Sažetak:** Kvalitet napona napajanja trofaznih asinhronih motora definiše vrednost napona, nesimetrija napona i harmonijska distorzija napona. U radu je ukazano na uticaj kvaliteta napona napajanja na energetska efikasnost trofaznih asinhronih motora sa posebnim osvrtom na energetska efikasnost asinhronih motora sa kaveznom rotorom u poljoprivredi. Povećanje energetske efikasnosti asinhronih motora postiže se ne samo primenom energetski efikasnih asinhronih motora, već i optimizacijom troškova za utrošenu električnu energiju, na šta značajan uticaj ima kvalitet napona napajanja i izbor optimalne vrednosti napona napajanja, s obzirom na nominalnu snagu, režim rada, opterećenje i konstruktivne karakteristike primenjenih asinhronih motora.

**Ključne reči:** asinhroni motor, napon, energetska efikasnost, električna energija, gubici, stepen korisnog dejstva

### UVOD

Asinhroni električni motori, koji se izvode kao trofazni i jednofazni, predstavljaju najrasprostranjenije električne motore i oni su danas najveći potrošači električne energije. Elektromotorni pogoni sa asinhronim motorima troše između 30% i 40% od

---

\* Kontakt autor: E-mail: vukicd@agrif.bg.ac.rs

Rad je rezultat istraživanja u okviru projekata: 1) „Unapređenje biotehnoških postupaka u funkciji racionalnog korišćenja energije, povećanja produktivnosti i kvaliteta polj. proizvođa“, TR-31051, 2) „Razvoj novih informaciono-komunikacionih tehnologija, korišćenjem naprednih matematičkih metoda, sa primenama u medicini, telekomunikacijama, energetiци, zaštiti nac. baštine i obrazovanju“, III-44006, i 3) „Inteligentne energetske mreže“, III-42009, koje finasira Ministarstvo za prosvetu, nauku i teh. razvoj Republike Srbije.

celokupne proizvedene električne energije. Zato se danas povećanju energetske efikasnosti asinhronih motora posvećuje posebna pažnja.

Povećanje energetske efikasnosti asinhronih motora postiže se kako primenom energetski efikasnih asinhronih motora, tako i primenom niza mera koje, pre svega, utiču na smanjenje troškova električne energije, ali i povećanje energetske efikasnosti kompletnog elektromotornog pogona i njegovih komponenti, [1], [2].

Jedan od važnih faktora koji utiče na energetska efikasnost trofaznih asinhronih motora jeste i kvalitet napona napajanja, pri čemu kvalitet napona definiše vrednost napona, nesimetrija napona i harmonijska distorzija napona napajanja.

Veliki doprinos unapređenju poljoprivredne proizvodnje, odnosno povećanju prinosa po jedinici površine i povećanju produktivnosti rada daje primena savremenih tehničkih sredstava pomoću kojih se vrši mehanizacija poljoprivredne proizvodnje. Različite primene električnih motora u tom smislu imaju značajnu ulogu [3].

Električni motori nalaze veliku primenu u svim oblastima poljoprivrede. S obzirom na velike prednosti električnih motora u odnosu na motore sa unutrašnjim sagorevanjem (tehničke, ekonomske, kvalitativne), oni se, gde je god to moguće, koriste u poljoprivredi kao uređaji za proizvodnju mehaničkog rada.

Imajući u vidu karakteristike radnih mašina u poljoprivredi pokazuje se da su za primenu u poljoprivredi ubedljivo najpogodniji asinhroni motori sa kaveznom rotorom, čije nominalne snage iznose do 10 kW, a ređe do 50 kW, [4]. Na svakom imanju srednje veličine instalirano je više stotina asinhronih motora, pomoću kojih je moguće obaviti veliki broj različitih poslova. Često se pomoću jednog motora, postavljenog na odgovarajuće prenosno ili prevozno postolje opslužuje više radnih mašina. Na taj način se postižu značajne uštede u materijalnom ulaganju i povećanju iskorišćenja pojedinih motora, pošto je veliki broj poslova u poljoprivredi sezonskog karaktera. To se, naravno ne odnosi na radne mašine, koje zahtevaju ugrađene motore.

S obzirom da su poljoprivredna imanja locirana na velikim površinama, energetski provodnici tada često imaju velike dužine (zbog čega se javljaju veliki padovi napona), kao i zbog činjenice da u poljoprivrednim objektima ima značajan broj jednofaznih priključaka i jednofaznih potrošača (što utiče na simetričnost trofaznih napona napajanja), problem kvaliteta napona napajanja u toj oblasti je posebno izražen, naročito u pogledu vrednosti napona i nesimetrija napona. Zato ovom problemu treba posvetiti posebnu pažnju, kako bi se smanjio utrošak električne energije i povećala energetska efikasnost primenjenih asinhronih motora.

## MATERIJAL I METOD RADA

Trofazni asinhroni motor je sa strane statora priključen na trofaznu mrežu iz koje uzima električnu snagu  $P_1 = \sqrt{3}UI \cos \varphi$  (utrošena snaga). Rotor je mehanički spregnut sa radnom mašinom kojoj predaje korisnu (mehaničku) snagu  $P$ . Proces elektromehaničkog pretvaranja energije u asinhronom motoru praćen je gubicima  $\sum P_\gamma$ . Principijelna šema trofaznog asinhronog motora je prikazana na Sl. 1.

Ukupni gubici  $\Sigma P_\gamma$ , koji se javljaju pri radu asinhronog motora, sastoje se od električnih, magnetnih i mehaničkih gubitaka, odnosno od gubitaka u bakru, gubitaka u gvožđu i gubitaka usled trenja i ventilacije, [2]:

$$\Sigma P_\gamma = P_1 - P = P_{\gamma el} + P_{\gamma mag} + P_{\gamma meh} \quad (1)$$

odnosno:

$$\Sigma P_\gamma = P_{Cu} + P_{Fe} + P_{fv} \quad (2)$$

ili:

$$\Sigma P_\gamma = P_{Cu_1} + P_{Cu_2} + P_{Fe_1} + P_{fv} \quad (3)$$

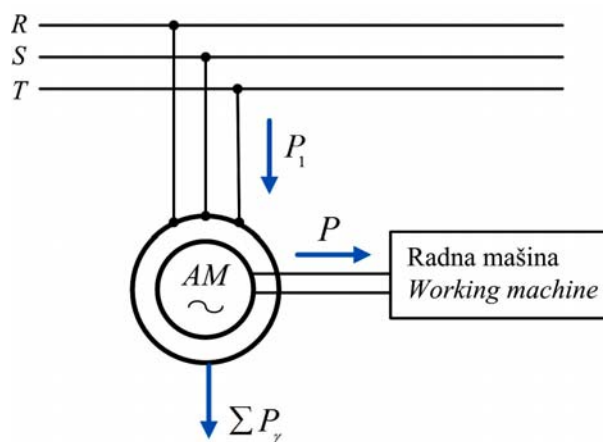
gde su:

$P_{Cu_1}$  i  $P_{Cu_2}$  [W] - gubici u bakru statora i rotora,

$P_{Fe_1}$  [W] - gubici u gvožđu statora i

$P_{fv}$  [W] - gubici usled trenja i ventilacije.

Gubici u gvožđu rotora  $P_{Fe_2}$  [W] su zanemarljivo mali, [3].



Slika 1. Principijelna šema trofaznog asinhronog motora  
Figure 1. Principal scheme of a three-phase induction motor

Odnos snaga  $P$  i  $P_1$  [kW] definiše stepen korisnog dejstva asinhronog motora:

$$\eta = \frac{P}{P_1} = \frac{P}{P + \Sigma P_\gamma} \quad (4)$$

koji se u nominalnom režimu rada kreće u granicama od 0,75 do 0,95 u zavisnosti od nominalne (nazivne) snage  $P_n$  motora. Sa porastom nominalne snage motora povećava se stepen korisnog dejstva, [3].

Asinhroni motor je induktivni potrošač što znači da pri radu, iz mreže, pored aktivne uzima i reaktivnu snagu. Odnos tih snaga definisan je faktorom snage  $\cos\varphi$ . Struja koju trofazni asinhroni motor pri nekoj snazi opterećenja  $P$  uzima iz mreže iznosi:

$$I = \frac{P}{\eta\sqrt{3}U \cos\varphi} \quad (5)$$

To znači da će za istu korisnu snagu  $P$  motor uzimati utoliko manju struju što je reaktivna snaga  $Q$  manja, odnosno faktor snage  $\cos\varphi$  veći.

Gubici snage i reaktivno opterećenje zavise od vrednosti napona napajanja.

Gubici u bakru, odnosno gubici opterećenja, uz zanemarivanje dodatnih gubitaka ( $P_{Cu} = P_{Cu_1} + P_{Cu_2}$ ) zavise od relativne vrednosti napona napajanja ( $u = U / U_n$ ), na način definisan izrazom:

$$P_{Cu} = P_{Cu_n} \frac{p^2}{u^2} \quad (6)$$

gde su:

$P_{Cu_n}$  [W] - gubici u bakru pri nominalnom režimu rada ( $P_n, U_n$ ).

Ovi gubici se određuju kao razlika ukupnih nominalnih gubitaka snage  $P_{\gamma_n}$  i snage praznog hoda pri nominalnom naponu  $P_{o_n}$ :

$$P_{Cu_n} = P_{\gamma_n} - P_{o_n} \quad (7)$$

Vrednosti ukupnih gubitaka snage, u apsolutnim i relativnim jedinicama, pri relativnom opterećenju  $p$  i relativnoj vrednosti napona napajanja  $u$ , sračunavaju se prema sledećim izrazima:

$$P_{\gamma}(p, u) = P_o(u) + P_{Cu_n} \frac{p^2}{u^2} \quad (8)$$

$$p_{\gamma}(p, u) = p_o(u) + p_{Cu_n} \frac{p^2}{u^2} \quad (9)$$

Pri utvrđivanju zavisnosti reaktivnih opterećenja od relativnih vrednosti napona  $Q = f(u)$ , za opterećenja od praznog hoda do nominalnog, prvo se određuje zavisnost reaktivnih opterećenja praznog hoda, u apsolutnim ( $Q_o$ ) i relativnim ( $q_o = Q_o / P_{1_n}$ ) jedinicama:

$$Q_o = f(u) \quad i \quad q_o = f(u) \quad (10)$$

Vrednosti reaktivnih snaga sračunavaju se prema izrazima:

$$Q_1(u) = Q_o(u) + Q_{1n} \frac{P^2}{u^2} \quad (11)$$

$$q_1(u) = q_o(u) + q_{1n} \frac{P^2}{u^2} \quad (12)$$

pri čemu se vrednosti reaktivnih snaga pri nominalnom režimu  $Q_{1n}$  i  $q_{1n}$  izračunavaju iz odnosa maksimalnog i nominalnog momenta [Nm] ( $m_{\max} = M_{\max} / M_n$ ), [1]:

$$Q_{1n} = 0,5 \frac{P_n}{m_{\max}} \quad i \quad q_{1n} = \frac{0,5}{m_{\max}} \quad (13)$$

Analiza rada trofaznog asinhronog motora u slučaju kada je trofazni napon napajanja nesimetričan vrši se primenom metode simetričnih komponenti. Suština metode se sastoji u tome da se nesimetrični trofazni napon razloži na dva simetrična sistema, direktni i inverzni (u ovom slučaju ne postoji unifazni sistem) i da se analiza sprovede u okviru ta dva sistema, [5]. Klizanje u relativnim jedinicama [r.j.] za direktni redosled je isto kao za standardni režim rada ( $s_1 = s$ ), dok je klizanje inverznog redosleda:

$$s_2 = 2 - s \quad (14)$$

Usled struja i napona direktnog redosleda javljaju se i dve komponente momenta motora, direktna i inverzna, koje su definisani sledećim relacijama:

$$M_1 = \frac{q R'_2}{\Omega_1 s} \frac{U_1^2}{\left(R_1 + \frac{R'_2}{s}\right)^2 + \left(X_{\gamma_1} + X'_{\gamma k_2}\right)^2} \quad (15)$$

$$M_2 = \frac{q R'_{22}}{\Omega_2 (2-s)} \frac{U_2^2}{\left(R_1 + \frac{R'_{22}}{2-s}\right)^2 + \left(X_{\gamma_1} + X'_{\gamma k_{22}}\right)^2} \quad (16)$$

pri čemu su  $R_1$ ,  $R_2$ ,  $R_{22}$ ,  $X_{\gamma_1}$ ,  $X_{\gamma_{k_2}}$  i  $X_{\gamma_{k_{22}}}$  parametri ekvivalentne šeme, [5].

Rezultantni momenat asinhronog motora u uslovima nesimetričnog napajanja je:

$$M = M_1 - M_2 \quad (17)$$

Inverzna komponenta momenta  $M_2$  je kočnog (otpornog) karaktera, što doprinosi smanjenju momenta motora u odnosu na standardni simetrični režim rada i povećanju klizanja, odnosno smanjivanju brzine. Rotorska učestanost inverznog redosleda je velika i približno je jednaka dvostrukoj mrežnoj učestanosti [  $f_2 = (2 - s)f$  ], za razliku od rotorske učestanosti za direktni redosled, odnosno standardni režim rada, koja iznosi svega nekoliko Hz (  $f_2 = sf$  ). To doprinosi povećanju gubitaka u gvožđu rotora.

Osnovni razlog narušavanja simetrije napona napajanja trofaznih asinhronih motora jeste nesimetrično opterećenje pojedinih faza na koje posebno utiče prisustvo većih monofaznih potrošača ili nesimetričnih kondenzatorskih baterija sa oštećenim ili isključenim kondenzatorima zbog pregorevanja osigurača jedne faze. Nesimetrično opterećenje pojedinih faza posebno je izraženo u poljoprivredi, gde postoji veliki broj monofaznih izvoda i monofaznih potrošača, zbog čega je često opterećenje pojedinih faza veoma različito.

Posledice koje se javljaju pri nesimetričnom napajanju trofaznog asinhronog motora su negativne i višestruke. One se ogledaju u povećanju klizanja, povećanju gubitaka, nejednakom zagrevanju pojedinih faza, pojavi gubitaka inverznog redosleda, smanjenju stepena korisnog dejstva, smanjenju dozvoljenog opterećenja, smanjenju maksimalnog i polaznog momenta i dr. Povećanje gubitaka i smanjenje stepena korisnog dejstva prouzrokuje povećani utrošak električne energije i smanjenje energetske efikasnosti motora.

Što je stepen nesimetrije faznih napona napajanja veći pomenuti efekti su izraženiji. Tako npr. prema NEMA standardu (*National Electrical Manufacturers Association*), [6], pri nesimetriji napona 2%, 3%, 4% i 5% vrednosti koeficijenta dozvoljenog opterećenja („*derating factor*”), redom iznose: 0,95, 0,93, 0,87 i 0,81. Primenom nacionalnih i međunarodnih standarda dozvoljeni stepen nesimetrije napona treba da bude manji od 2%. Pri opterećenjima manjim od nominalnog motor može raditi i sa većim stepenom nesimetrije.

Harmonijska distorzija napona napajanja trofaznog asinhronog motora uslovljena je nesinusoidalnim oblikom napona napajanja, koji se javlja kada se motor napaja preko poluprovodničkih pretvarača napona i učestanosti u cilju regulisanja brzine ili zbog postojanja nelinearnih potrošača ili pretvarača koji se napajaju iz te mreže. U slučaju nesinusoidalnog napona napajanja pored osnovnog harmonika, javljaju se i viši vremenski harmonici i njihovo prisustvo dovodi do više efekata koji negativno utiču na rad motora [7]. U elektromotornim pogonima u poljoprivredi praktično ne postoje razlozi za pojavu harmonijske distorzije napona, pa se zato taj parametar kvaliteta napona ovde neće analizirati.

## REZULTATI ISTRAŽIVANJA I DISKUSIJA

Radi uvida u efekat promene napona napajanja na gubitke i stepen korisnog dejstva trofaznog kaveznog asinhronog motora, odnosno na njegovu energetska efikasnost, primenom originalne metode za proračun radnih karakteristika asinhronog motora, izložene u [8], izvršeni su odgovarajući proračuni za trofazni kavezni asinhroni motor snage  $P_n = 4 \text{ kW}$ , koji se može smatrati tipičnim asinhronim motorom za primenu u poljoprivredi.

Kataloški podaci i podaci dobijeni eksperimentalnim putem, [9], [10] za taj motor su:

$$P_n = 4 \text{ kW}, \quad U_n = 380 \text{ V}, \quad f = 50 \text{ Hz}, \quad 2p = 4, \quad n_n = 1425 \text{ o/min}, \quad \eta = 0,84, \\ \cos \varphi = 0,855, \quad P_{fv} = 21 \text{ W}, \quad P_{Fe} = 128 \text{ W}, \quad \cos \varphi_o = 0,092, \quad R_1 = 1,62 \Omega, \\ R_2 = 1,5 \Omega, \quad X_{\gamma_1} = 2 \Omega, \quad X'_{\gamma k_2} = 3,42 \Omega, \quad X_m = 31,85 \Omega, \quad M_{\max} / M_n = 2,92.$$

Izračunate su vrednosti stepena korisnog dejstva ( $\eta$ ) i faktora snage ( $\cos \varphi$ ) u relativnim jedinicama pri opterećenjima  $p = P / P_n = 0,25 - 1,00$  (r.j.) i u oblasti napona napajanja  $u = U / U_n = 0,9 - 1,1$  (r.j.). Dobijeni rezultati dati su u Tab. 1 i 2.

Tabela 1. Stepen korisnog dejstva za opterećenja  $p=0,25-1,00$  u oblasti napona  $u=0,9-1,1$  (r.j)

Table 1. Power efficiency for load  $p=0.25-1.00$ , within voltage domain  $u=0.9-1.1$  (p.u)

$p=P/P_n$	0,25	0,50	0,75	1,00
$u=U/U_n$	Stepen iskorišćenja ( $\eta$ ) Power efficiency ( $\eta$ )			
0,90	0,801	0,842	0,853	0,826
0,95	0,790	0,831	0,850	0,827
1,00	0,761	0,820	0,850	0,840
1,05	0,735	0,806	0,847	0,831
1,11	0,694	0,795	0,819	0,828

Tabela 2. Faktor snage za opterećenja  $p=0,25-1,00$  u oblasti napona  $u=0,9-1,1$  (r.j)

Table 2. Power factor for load  $p=0.25-1.00$ , within voltage domain  $u=0.9-1.1$  (p.u)

$p=P/P_n$	0,25	0,50	0,75	1,00
$u=U/U_n$	Faktor snage ( $\cos \varphi$ ) Power factor ( $\cos \varphi$ )			
0,90	0,640	0,816	0,882	0,890
0,95	0,580	0,780	0,851	0,870
1,00	0,520	0,720	0,820	0,855
1,05	0,460	0,651	0,781	0,830
1,11	0,400	0,595	0,719	0,790

Rezultati sređeni u Tab. 1 i 2, dobijeni primenom navedene metode, pokazuju dobro slaganje sa zaključcima izloženim u literaturi koja se bavi ovom problematikom [11], [12], [13].

Analizom rezultata prikazanih u Tab. 1 i 2 može se zaključiti sledeće:

- Stepen korisnog dejstva raste ukoliko se napon smanjuje ispod nominalnog, ako je opterećenje do 50% nominalnog opterećenja ( $p < 0,5$ ). To povećanje iznosi od 2,2% do 4%.
- Pri povećanju napona iznad nominalne vrednosti stepen korisnog dejstva se smanjuje pri svim vrednostima opterećenja, pri čemu je to smanjenje veće pri nižim vrednostima snage opterećenja. To smanjenje iznosi oko 1,5%.
- Faktor snage se povećava pri smanjivanju napona napajanja, pri čemu je to povećanje izraženije pri nižim vrednostima snage opterećenja, što dovodi do smanjenja potrošnje reaktivne energije. Tako se u konkretnom slučaju, pri opterećenju  $P = 0,25P_n$ , i naponu  $U = 0,95U_n$  potrošnja reaktivne energije smanjuje za 14,7%, a pri naponu  $U = 0,9U_n$  i istom opterećenju to smanjenje iznosi 26,9%.
- Promena faktora snage je izraženija što su relativna opterećenja niža i što su motori manjih snaga.

Radi uvida u uticaj nesimetrije napona na karakteristike asinhronog motora izvršen je proračun za navedeni motor nominalne snage  $P_n = 4 \text{ kW}$  za slučaj kada je vrednost pojedinih faznih napona:  $\underline{U}_A = 220 \text{ V}$ ,  $\underline{U}_B = 200e^{j150^\circ} \text{ V}$  i  $\underline{U}_C = 240e^{j90^\circ} \text{ V}$ .

Pri tome je dobijeno da je pri nominalnoj brzini motora momenat smanjen za 6,2%, ali glavni problem je u tome što se struje pojedinih faza veoma razlikuju i u datom slučaju one, u relativnim jedinicama, iznose:  $i_A = 1,49$ ,  $i_B = 1,22$  i  $i_C = 0,46$ , što znači da se pojedine faze jako zagrevaju zbog čega može doći do pregorevanja motora.

## ZAKLJUČAK

Asinhroni motori su jedan od najvećih potrošača električne energije u poljoprivredi. Zato je neophodno preduzimanje mera za povećanje energetske efikasnosti pogona sa tim motorima u toj oblasti i postizanje što veće uštede električne energije. Jedan od faktora koji utiče na energetska efikasnost asinhronih motora jeste kvalitet napona napajanja koga definiše vrednost napona, nesimetrija napona i harmonijska distorzija napona napajanja.

U poljoprivredi se najčešće primenjuju trofazni kavezni asinhroni motori nominalne snage do 10 kW. Analize sprovedene u ovom radu pokazuju da kod ove vrste motora stepen korisnog dejstva raste ukoliko se napon smanjuje ispod nominalnog, ako je opterećenje manje od 50% nominalne snage, dok se stepen iskorišćenja pri povećanju napona iznad nominalnog smanjuje pri svim vrstama opterećenja, pri čemu je to smanjenje veće pri nižim vrednostima snage opterećenja. Nominalni napon je približno optimalan pri opterećenjima koja su približna nominalnoj snazi motora, dok je pri opterećenjima manjim od nominalnih optimalni napon niži od nominalnog, i to utoliko više što su motori manjih nominalnih snaga i što su opterećenja motora niža. Faktor snage se povećava pri smanjivanju napona napajanja, pri čemu je to povećanje izraženije pri nižim snagama opterećenja. Povećanje faktora snage je izraženije što su relativna opterećenja niža i što su motori manje snage. Povećanju faktora snage odgovara



smanjenje potrošnje reaktivne energije, odnosno smanjenje gubitaka, povećanje stepena korisnog dejstva i smanjenje troškova za utrošenu električnu energiju.

Navedeni rezultati su posebno značajni za primenu u trofaznih kaveznih asinhronih motora u poljoprivredi, [4], [14], [15], pošto tada motori često rade sa opterećenjima manjim od nominalnog, posebno u slučajevima kada su motori predviđeni da pokreću više različitih radnih mašina.

Nesimetrija napona napajanja trofaznih asinhronih motora je prouzrokovana najčešće nejednakim opterećenjem pojedinih faza na šta posebno utiče veliki broj monofaznih izvoda i velikih monofaznih potrošača, što je posebno prisutno u poljoprivredi. Posledice koje se imaju pri nesimetričnom naponu napajanja su negativne i višestruke i značajno utiču na energetska efikasnost motora. Zato prema važećim propisima i standardima maksimalni stepen nesimetrije mora da bude manji od 2%. Harmonijska distorzija napona napajanja praktično ne postoji u elektromotornim pogonima u poljoprivredi.

#### LITERATURA

- [1] Kostić, M., 2010. *Povećanje energetske efikasnosti elektromotora u pogonima*, Elektrotehnički institut Nikola Tesla, Beograd, Srbija.
- [2] Vukić, Đ., Radičević, B., Floranović, N., Kocić, M. 2011. Energetska efikasnost asinhronih motora u poljoprivredi. *Poljoprivredna tehnika*, br. 3, Beograd, Srbija, pp. 1-9.
- [3] Vukić, Đ. 2011. *Električni motori*, VISER, Beograd, Srbija
- [4] Vukić, Đ. 1992. *Pogonske mašine u poljoprivredi – Elektromotori u poljoprivredi*, Poljoprivredni fakultet, Beograd, Srbija
- [5] Stajić, Z., Vukić, Đ., Radić, M. 2011. *Asinhronne mašine*, Elektronski fakultet, Niš, Srbija
- [6] NEMA MG 10-2001, 2007. *Energy Management Guide for Selection and Use of Fixed Frequency Medium AC Squirrel-Cage Polyphase Induction Motors*, Rosslyn, Virginia, USA
- [7] Vukić, Đ., 1985. Uticaj viših harmonika na rad asinhronog motora. *Tehnika*, separat Elektrotehnika, br. 12, Beograd, Srbija, pp. 11-14
- [8] Vukić, Đ., Stojanović, D. 1991. Jedna nova metoda za proračun radnih karakteristika asinhronog motora. *Tehnika*, II Zbornik radova Elektrotehničkog fakulteta u Prištini, Srbija, pp. 157-166
- [9] Vukić, Đ., Stajić, Z., Radić, M. 2004. *Asinhronne mašine – zbirka zadataka*, Akademska misao, Beograd, Srbija
- [10] Vukić, Đ., Ercegović, Đ., Raičević, D., Oljača, M. 2006. Merenje momenta asinhronog motora. *Poljoprivredna tehnika*, br. 4, Beograd, Srbija, pp. 71-79
- [11] Kostić, M., 1998. Smanjenje opterećenja i potrošnje energije podešavanjem vrednosti napona motora. *Elektroprivreda*, No. 3, Beograd, Srbija, pp. 65-78
- [12] Liuders, J.R., 1972. Effects of Power Supply Variations on AC Motor Characteristics. *IEEE Transaction on Ind. Appl.*, Vol. 1A-8, USA, pp. 383-400
- [13] Ivanov - Smolensky, A. 1992. *Electrical Machines*, Vol. 2, Energia, Moscow, Russia
- [14] Vukić, Đ., Stajić, Z., Ercegović, Đ. 1998. Optimizacija elektromotornog pogona pumpi sa asinhronim motorima. *Poljoprivredna tehnika*, br. 2, Beograd, Srbija, pp. 65-77
- [15] Radić, M., Nikolić, D., Stajić, Z., Vukić, Đ. 2005. Praktičan primer poredjenja energetske efikasnosti malih pumpnih stanica. *Poljoprivredna tehnika*, br. 2, Beograd, Srbija, pp. 43-53

## INFLUENCE OF VOLTAGE QUALITY ON ENERGY EFFICIENCY OF INDUCTION MOTORS IN AGRICULTURE

Đukan Vukić<sup>1</sup>, Branko Radičević<sup>1</sup>, Žarko Milkić<sup>2</sup>, Nenad Floranović<sup>3</sup>

<sup>1</sup>University of Belgrade, Faculty of Agriculture, Institute of Agricultural Engineering, Belgrade-Zemun, Republic of Serbia

<sup>2</sup>University of Pristina, Faculty of Technical Sciences, Kosovska Mitrovica, Republic of Serbia

<sup>3</sup>Research and Development Center ALFATEC, Niš, Republic of Serbia

**Abstract:** Voltage quality of power supply for three-phased induction motors is defined with value of voltage, voltage asymmetry and harmonic distortion of voltage. In this paper, an influence of voltage quality on energy efficiency of three-phased induction motors has been pointed, with particular review on energy efficiency of induction motors with squirrel-cage rotors in agriculture. Increase of energy efficiency of induction motors is achieved not only with applying energy efficient induction motors, but also with optimization of costs of consumed electrical energy, on which significantly influences the quality of voltage power supply and the choice of optimal value of voltage power supply, considering nominal power, working mode, load and constructive characteristics of induction motors being applied.

**Key words:** induction motor, voltage, energetic efficiency, electrical energy, losses, power efficiency coefficient

Datum prijema rukopisa: 04.11.2012.  
Datum prijema rukopisa sa ispravkama:  
Datum prihvatanja rada: 14.11.2012.