

# PRAKTIČNI POSTUPAK ODREĐIVANJA ENERGETSKOG BILANSA ALTERNATIVNIH IZVORA ELEKTRIČNE ENERGIJE NA OSNOVU IZMERENIH TRENUTNIH VREDNOSTI NAPONA I STRUJA

*Andreja Todorović<sup>1</sup>, Miroljub Jevtić<sup>2</sup>*

## SAŽETAK:

U radu je pokazano kako se pomoću izmerenih trenutnih vrednosti složenoperiodičnih napona i struja određuje energetski bilans alternativnih izvora električne energije. To se postiže primenom savremene merne računarske opreme u LabVIEW okruženju, gde se sa više hiljada numeričkih podataka u vremenskom domenu, na izabranim vremenskim razmacima od 10 do 300  $\mu$ s, dobijaju odgovarajuće veličine. Naime, složenoperiodične funkcije vremena se najpre razlažu u Furijeov red, a zatim se sa dobijenim harmonicima određuju: efektivne vrednosti složenoperiodičnog napona i struje, faze i početne faze najdominantnijeg harmonika, osnovna učestanost, fazna razlika između napona i struje, faktor snage  $\cos\phi$  i onda sve snage alternativnog izvora energije.

Ključne reči: *alternativni izvor, energija, snaga, merna oprema, Furijeov red.*

## 1. UVOD

U praksi alternativni izvori električne energije naizmenične struje proizvode uglavnom složenoperiodične napone i struje. Do sada je određivanje njihovog energetskog bilansa vršeno klasičnim metodama pomoću mernih instrumenata, pri čemu su dobijeni rezultati bili sa izvesnim odstupanjima i relativno niskom

---

<sup>1</sup> Dr Andreja Todorović, FTN, Kosovska Mitrovica

<sup>2</sup> Dr Miroljub Jevtić, FTN, Kosovska Mitrovica

pouzdanošću i onda kada su korišćeni instrumenti bili sa najvišom klasom tačnosti [1].

Navedeno problematično pitanje se rešava pomoću savremene merne računarske opreme za merenje i akviziciju podataka u LabVIEW okruženju, pri čemu se izmerene trenutne i efektivne vrednosti napona i struja u vidu numeričkih podataka dobijaju tabelarno i grafički i čuvaju u datoteci računara. Merenjem se dobija do oko 10000 podataka za izmerene trenutne vrednosti složenoperiodičnog napona i struje na izabranim vremenskim razmacima od 10 do 300  $\mu$ s. Zatim se vrši obrada tako dobijenih podataka za trenutne vrednosti napona i struja u nekom od matematičkih računarskih programa, pri čemu se složenoperiodični naponi i struje razlažu u Furijeov red. U daljem postupku se određuju: efektivne vrednosti složenoperiodičnog napona i struje, faze i početne faze najdominantnijeg harmonika, osnovna učestanost i osnovna kružna učestanost napona i struje, fazna razlika između napona i struje, faktor snage  $\cos\phi$ , i onda: aktivna, reaktivna i prividna snaga alternativnog izvora električne energije. Ovako dobijeni podaci su u stvari vrednosti ekvivalentne prostoperiodične sinusoidne funkcije vremena za napon i struju i koje praktično zamenjuju prvobitne realne izmerene složenoperiodične funkcije napona i struje. Navedenim postupkom i mernom računarskom opremom se dolazi do veoma preciznih i pouzdanih podataka za relativno kratko vreme, čime se ostvaruju pozitivniji tehno-ekonomski efekti u odnosu na poznate klasične metode koje koriste merne instrumente. Naravno, to je suština i krajnji cilj obrađene problematike u radu [2-11].

## **2. OPIS SISTEMA ZA AKVIZICIJU PODATAKA**

Sistem za akviziciju podataka predstavlja višefunkcionalni hardverski modul (kartica) tipa ED428 za akviziciju podataka, merenje, procesno upravljanje i grafičku prezentaciju. Modul ED428 je konfigurisan sa standardnim analognim i digitalnim I/O funkcijama za ISA magistralu, a odlikuje se visokom tačnošću, koja sa svojom karticom od 12 bita iznosi  $(1/2^{12}) \cdot 100 = 0,024414\%$  [7-8].

Što se PC računara tiče, poznato je da oni poznaju jedino mašinski jezik. Međutim, kako većina signala: struja, napon, amplituda, temperatura, pritisak, nivo, vremenski period itd. nije u formatu koji računar razume, da bi sistem za akviziciju podataka mogao da izvrši svoju funkciju za koju je namenjen mora da konvertuje takve signale u oblik koji je razumljiv računaru.

Izolovani kondicioneri imaju instrumentacione karakteristike visoke tačnosti  $\pm 0,03\%$  i linearnosti  $\pm 0,01\%$ , pri čemu se na njihovom ulazu dovodi nepoznati jednosmerni ili naizmenični analogni naponski ili strujni signal, a na izlazu daju

jednosmerni analogni strujni signal od (4-20) mA. Napajanje izolovanih kondicionera se vrši iz stabilnog jednosmernog izvora 24 V, 3 A. Osnovna funkcija izolovanih kondicionera je da ulazne analogne signale prenese preko izolacione barijere i da ih verodostojno interpretira na svom izlazu, zatim da štiti ljude od visokog napona i galvanski odvajaju mernu opremu od nepoželjne razlike potencijala u petlji uzemljenja. Primenom izolovanih kondicionera sprečava se degradacija kvaliteta merenja nastala efektima smetnji različitog porekla, kao što su: šum, tranzijenti, električna pražnjenja i druge opasnosti od industrijskog ili laboratorijskog okruženja. Primenjeni tipovi izolovanih kondicionera su serije CB za odgovarajuće naponske i strujne ulazne signale. Njihova osnovna uloga je obrada ulaznog analognog signala, galvanska izolacija, konverzija u strujni signal i njegov prenos do mernog mesta strujnom petljom od (4-20) mA [7-8].

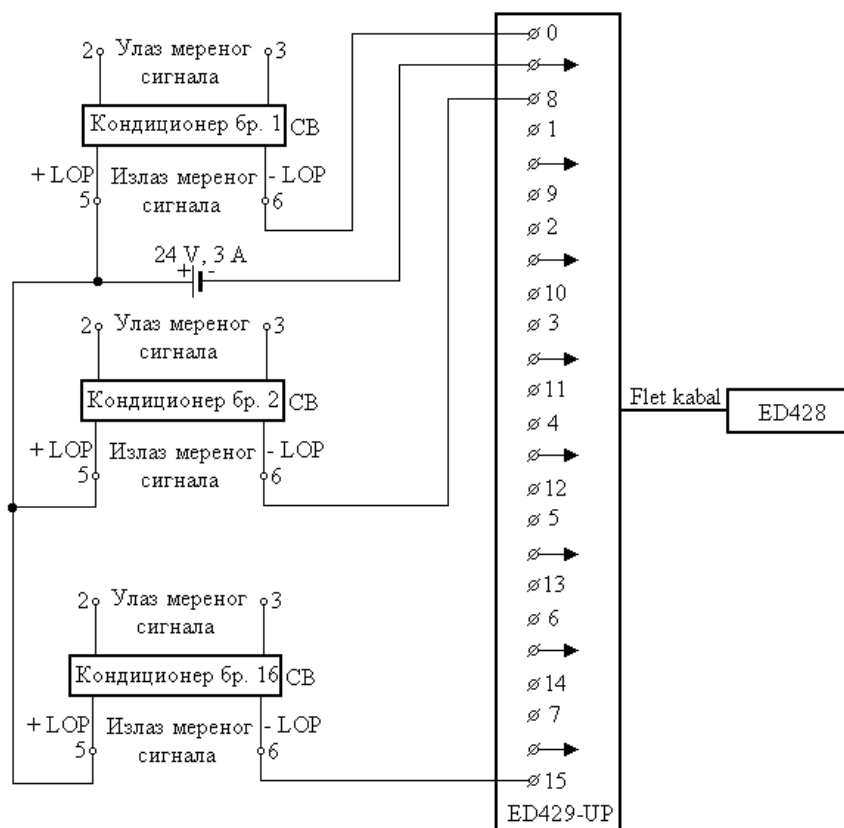
Priključni panel služi da se na lak i jednostavan način priključe izlazni analogni signali senzora ili ma kog izvršnog organa sa realnim procesom na sistem za akviziciju podataka, tj. modul ED428. Primenjen je univerzalni priključni panel tipa ED429-UP, koji se sa modulom ED428 povezuje 50-žilnim flet kablom posredstvom odgovarajućeg konektora. Na ED429-UP se može priključiti 16 analognih ulaznih signala u isto toliki broj analognih ulaznih kanala. Spoljne signalne linije se priključuju na panel preko priključnih klem sa vijcima, koji su postavljeni duž ivica panela. Svakom analognom ulaznom kanalu pripadaju po dva priključka, jedan koji je označen rednim brojem kanala od 0 DO 15, a drugi, zajednički priključak za masu (analognu nulu) za po dva kanala, označen je simbolom za masu, bez brojne oznake [7-8].

Program za rad modula ED428 napisan je u LabVIEW grafičkom okruženju, u vidu blok dijagrama, pod operativnim sistemima: Windows95, Windows98 ili Windows Milenium. LabVIEW je grafički programski jezik za pravljenje instrumentacionih sistema za akviziciju podataka. Pomoću LabVIEW-a se kreira front panel korisnički interfejs, koji omogućava interaktivnu kontrolu izvršavanja korisničkog softvera. Da bi se specificirala funkcionalnost sistema, vrši se intuitivno grafičko asembliranje dijagrama pomoću gotovih funkcionalnih blokova. Osim toga, da bi se razvio program u LabVIEW okruženju, vrši se asembliranje softverskih objekata, koji se nazivaju virtuelnim instrumentima (VI). Pomoću LabVIEW može se upravljati sistemom i vršiti prikaz rezultata preko interaktivnog grafičkog front panela.

Pre pokretanja programa unosi se podatak o brzini semplanja, koji iznosi od 40 sample/s do 100 ksample/s za brza (DMA) merenja trenutnih vrednosti naizmeničnih signala, što znači da se upis podataka vrši na vremenskim razmacima od  $1/40 = 25$  ms do  $1/100000 = 10$   $\mu$ s po angažovanom kanalu. Za

merenja u  $n$  kanala ovi će vremenski razmaci biti  $n$  puta veći u svim anagažovanim kanalima. S druge strane, pri sporom merenju jednosmernih signala, temperature i efektivnih (RMS) vrednosti naizmeničnih signala vrši se izbor vremenskih razmaka upisa podataka o izmernim veličinama, čija najmanja vrednost iznosi 1 s. U radu je izabrana brzina semplovanja od 20 ksamples/s za brza (DMA) merenja, a vremenski razmaci upisa podataka za spora merenja od 1 s. Izabrano usrednjavanje je iznosilo 4000, jer se pokazalo da se sa ovom vrednošću dobijaju najmirniji jednosmerni signali, odnosno da su tada uticaji šumova i drugih uticajnih veličina na grešku merenja najmanji [9-11].

Principijelna električna šema sistema za akviziciju podataka prikazana je na sl. 1.



Sl. 1. Principijelna električna šema sistema za akviziciju podataka.

### 3. EKSPERIMENT I REZULTATI

U radu je kao alternativni izvor električne energije razmatran trofazni asinhroni generator jedne mikro hidroelektrane na reci Timok u Zaječaru, čiji su nominalni podaci: 50 kVA, 3x380 V, 90 A, 50 Hz, 1000 min<sup>-1</sup>, cosφ=0.85, Y.

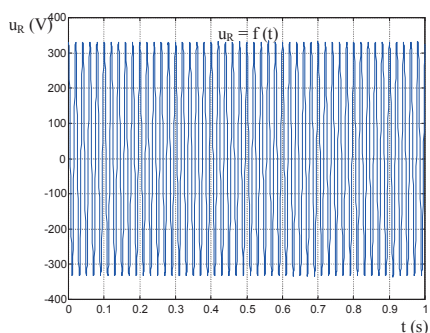
Eksperiment je izveden za ustaljeni režim rada izvora, a merenjem su dobijene ne samo trenutne već i efektivne vrednosti faznih napona i struja, mada je za navedeno pitanje dovoljno imati samo trenutne vrednosti navedenih veličina. U tom slučaju se pruža još jedna povoljna mogućnost provere kvaliteta merenja, tj. upoređenja izmerenih efektivnih vrednosti sa efektivnim vrednostima napona i struja dobijenih obradom podataka za njihove trenutne vrednosti [6].

Izmerene efektivne vrednosti napona i struja po fazama na najmanje izabranim vremenskim razmacima od 1 s, kao i njihove srednje vrednosti, date su u tabeli 1 za po nekoliko merenja. Međutim, izmerene trenutne vrednosti složenoperiodičnih napona i struja po fazama na izabranim vremenskim razmacima od 300 μs, za vreme trajanja od 1 s, tj. sa 3334 podataka, dati su grafički dijagramima na sl. 2 a) i b), sl. 3 a) i b) i sl. 4 a) i b), kao i u vidu numeričkih podataka u odgovarajućoj datoteci Eksel programa, pri čemu se posle podvrgavaju daljoj obradi.

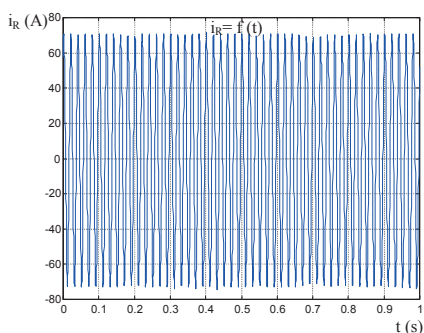
Tabela 1. Eksperimentalni rezultati merenja efektivnih vrednosti napona i struja po fazama asinhronog generatora

Faza R		Faza S		Faza T	
$U_R$ (V)	$I_R$ (A)	$U_S$ (V)	$I_S$ (A)	$U_T$ (V)	$I_T$ (A)
238.201409	48.1393	238.359573	48.2212	237.080037	48.1698
238.230872	48.1418	238.414007	48.2249	237.025254	48.1721
238.288828	48.1450	238.418694	48.2262	237.084990	48.1717
238.273319	48.1382	238.375576	48.2241	237.222086	48.1708
238.326700	48.1420	238.345638	48.2244	237.154403	48.1721
238.347639	48.1344	238.357929	48.2226	237.133080	48.1698
238.222455	48.1376	238.357616	48.2187	237.090048	48.1672
238.226254	48.1360	238.308012	48.2218	237.164933	48.1666
238.154548	48.1361	238.288830	48.2220	237.028631	48.1669
238.260655	48.1301	238.330412	48.2160	237.088014	48.1639
238.160409	48.1269	238.224145	48.2084	237.053542	48.1581
238.229478	48.1318	238.319055	48.2164	237.107260	48.1634
238.148733	48.1388	238.253368	48.2226	237.001588	48.1691

Faza R		Faza S		Faza T	
$U_R$ (V)	$I_R$ (A)	$U_S$ (V)	$I_S$ (A)	$U_T$ (V)	$I_T$ (A)
238.203573	48.1371	238.318023	48.2178	237.071618	48.1649
238.188815	48.1369	238.346120	48.2193	237.065655	48.1687
238.224584	48.1387	238.251562	48.2185	237.007137	48.1661
238.228030	48.1410	238.319389	48.2222	237.007623	48.1694
238.255986	48.1435	238.387869	48.2224	237.110107	48.1721
$U_{SrR}$ (V)	$I_{SrR}$ (A)	$U_{SrS}$ (V)	$I_{SrS}$ (A)	$U_{SrT}$ (V)	$I_{SrT}$ (A)
238.2210	48.1383	238.3382	48.2206	237.0738	48.1682

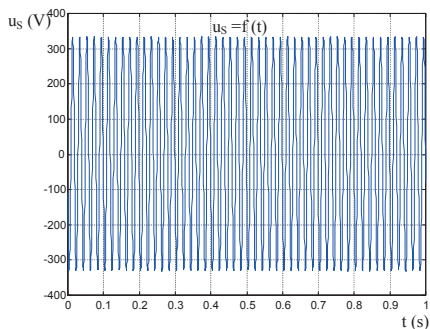


a)

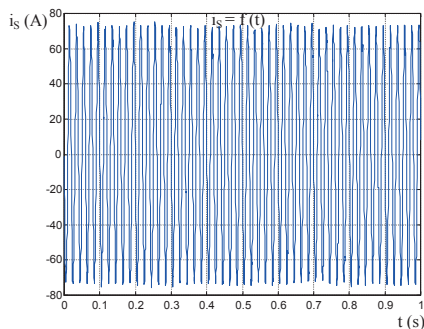


b)

Sl. 2. Grafički prikaz izmerenih trenutnih vrednosti napona i struje faze R kao složenoperiodične funkcije vremena

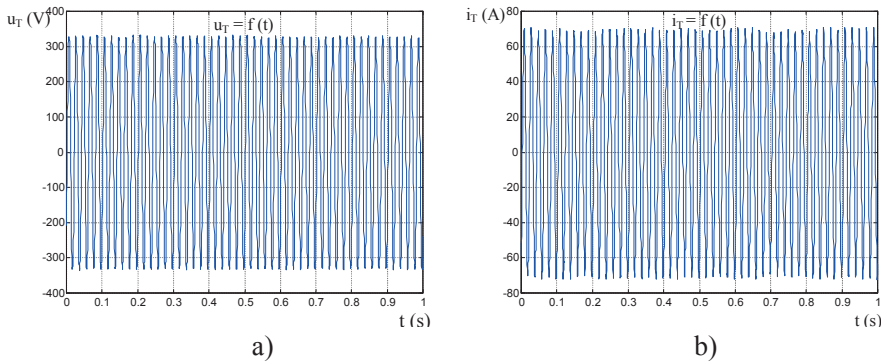


a)



b)

Sl. 3. Grafički prikaz izmerenih trenutnih vrednosti napona i struje faze S kao složenoperiodične funkcije vremena



Sl. 4. Grafički prikaz izmerenih trenutnih vrednosti napona i struje faze T kao složenoperiodične funkcije vremena

Sa dobijenim podacima za trenutne vrednosti naizmeničnih veličina datim na sl. 2, sl. 3 i sl. 4, kao i u odgovarajućoj datoteci Eksel programa, vrši se njihova dalja obrada u Matlab računarskom programu, gde se izmerene složenoperiodične funkcije vremena razlažu na harmonike u Furijeov red. Zatim se sa tako dobijenim harmonicima za svaku fazu određuju: efektivne vrednosti složenoperiodičnih napona i struja, faze i početne faze najdominantnijeg harmonika, perioda, osnovna učestanost i osnovna kružna učestanost, fazna razlika između napona i struje i faktor snage, pri čemu su tako dobijene veličine u stvari vrednosti ekvivalentnih prostoperiodičnih funkcija vremena za napon i struju, koje praktično zamenjuju realne složenoperiodične funkcije vremena. Navedene veličine se određuju sledećim jednačinama [2-5]:

$$U_{ef} = \sqrt{U_o^2 + U_1^2 + \dots + U_k^2}, \tag{1}$$

$$I_{ef} = \sqrt{I_o^2 + I_1^2 + \dots + I_k^2}, \tag{2}$$

$$\theta_k = \begin{cases} \frac{\pi}{2} \cdot \text{sgn } a_k, & b_k = 0 \\ \left( \arctan \frac{a_k}{|b_k|} \right) \cdot \text{sgn } b_k + \frac{\pi}{2} (1 - \text{sgn } b_k), & b_k \neq 0 \end{cases}, \tag{3}$$

$$\psi_k = \begin{cases} \frac{\pi}{2} \cdot \text{sgn } a_{ki}, & b_{ki} = 0 \\ \left( \arctan \frac{a_{ki}}{|b_{ki}|} \right) \cdot \text{sgn } b_{ki} + \frac{\pi}{2} (1 - \text{sgn } b_{ki}), & b_{ki} \neq 0 \end{cases}, \tag{4}$$

$$T = \frac{t_{\max}}{n}, \quad (5)$$

$$f = \frac{1}{T}, \quad (6)$$

$$\varphi = \theta - \psi, \quad (7)$$

$$\cos \varphi = \cos(\theta - \psi), \quad (8)$$

gde je:  $U_o, U_1, \dots, U_k, I_o, I_1, \dots, I_k$  – nulti, prvi (osnovni), drugi i ostali viši harmonici Furijeovog reda za napon i struju,  $k=0,1,2,\dots$  – broj harmonika,  $U_{ef}, I_{ef}$  – efektivna vrednost ekvivalentne prostoperiodične funkcije vremena za napon i struju,  $a_k, b_k$  – realne i imaginarne komponente harmonika za napon,  $a_{ki}, b_{ki}$  – realne i imaginarne komponente harmonika za struju,  $\theta_k, \psi_k$  – početne faze napona i struje, tj. njihovog najdominantnijeg harmonika,  $T$  – perioda,  $f$  – osnovna učestanost,  $\omega = 2\pi f$  – osnovna kružna učestanost,  $n$  – najdominantniji harmonik,  $\varphi$  – fazna razlika između napona i struje i  $\cos \varphi$  – faktor snage.

Za razmatrani asinhroni generator se prema jednačinama (1), (2), ... , (8) dobijaju rezultati u vidu numeričkih vrednosti, koji su dati u tabeli 2 i tabeli 3.

Tabela 2. Efektivne vrednosti ekvivalentne prostoperiodične funkcije vremena za napon i struju po fazi.

Faza R		Faza S		Faza T	
$U_{efR}$ (V)	$I_{efR}$ (A)	$U_{efS}$ (V)	$I_{efS}$ (A)	$U_{efT}$ (V)	$I_{efT}$ (A)
238.1241	49.5047	238.2575	50.4300	236.9808	48.4072

Tabela 3. Početne fazenapona i struje, fazne razlike između napona i struje i faktori snage po fazi

Faza R			
$\theta$ (rad)	$\psi$ (rad)	$\varphi$ (rad)	$\cos \varphi$
1.3359	0.9477	0.3881	0.9256
Faza S			
$\theta$ (rad)	$\psi$ (rad)	$\varphi$ (rad)	$\cos \varphi$
3.4505	3.0708	0.3797	0.9288
Faza T			
$\theta$ (rad)	$\psi$ (rad)	$\varphi$ (rad)	$\cos \varphi$
-0.7082	-1.1364	0.4282	0.9097



Za ovaj primer najdominantniji harmonik je  $n = 50$ , te se prema jednačinama (5) i (6) dobija:  $T = \frac{t_{\max}}{n} = \frac{0,9999}{50} = 0,019998 \text{ s}$  i  $f = \frac{1}{T} = \frac{1}{0,02} = 50,005 \text{ Hz}$ .

U cilju upoređivanja izmerenih efektivnih vrednosti napona i struja datim u tabeli 1 sa dobijenim efektivnim ekvivalentnim vrednostima datim u tabeli 2, poželjno je da se one što manje razlikuju, što predstavlja pokazatelj kvaliteta primenjenog postupka i metode merenja navedenih veličina. Navedeni pokazatelj kvaliteta merenja se najjednostavnije određuje odnosom tih veličina, što je prikazano u tabeli 4 [1], [6].

Tabela 4. Pokazatelj kvaliteta merenja dat odnosom efektivnih vrednosti napona i struja iz tabele 2 i tabele 1

Faza R		Faza S		Faza T	
$\frac{U_{efR}}{U_{SrR}}$	$\frac{I_{efR}}{I_{SrR}}$	$\frac{U_{efS}}{U_{SrS}}$	$\frac{I_{efS}}{I_{SrS}}$	$\frac{U_{efT}}{U_{SrT}}$	$\frac{I_{efT}}{I_{SrT}}$
0.9996	1.0284	0.9997	1.0458	0.9996	1.0050

Sa dobijenim podacima iz tabele 2 i tabele 3 određuju se srednje vrednosti ekvivalentnih prostoperiodičnih funkcija vremena za trofazni sistem napona i struja, koje su kao aritmetičke sredine svih faza date u tabeli 5.

Tabela 5. Srednje vrednosti ekvivalentnih prostoperiodičnih funkcija vremena za trofazni sistem napona i struja

$U_{ef} \text{ (V)}$	$I_{ef} \text{ (A)}$	$\theta \text{ (rad)}$	$\psi \text{ (rad)}$	$\varphi \text{ (rad)}$	$\cos \varphi$
237.7875	49.4473	1.3594	0.9607	0.3987	0.9216

Sa podacima iz tabele 5 mogu se odrediti trenutne vrednost ekvivalentne prostoperiodične sinusoidne funkcije vremena za napon i struju po fazi, kao i sve snage razmatranog asinhronog generatora prema sledećim jednačinama:

$$P = 3 U_{ef} I_{ef} \cos \varphi = 32508.379 \text{ W}, \tag{9}$$

$$Q = 3 U_{ef} I_{ef} \sin \varphi = 13694.036 \text{ VAR}, \tag{10}$$

$$S = 3 U_{ef} I_{ef} = 35273.489 \text{ VA}, \tag{11}$$

gde su:  $P, Q, S$  - aktivna, reaktivna i prividna snaga razmatranog asinhronog generatora kao alternativnog izvora električne energije.

#### 4. ZAKLJUČAK

U praksi je pokazano da se primenom savremene merne računarske opreme u LabVIEW okruženju pomoću metode merenja samo trenutnih vrednosti napona i struja dobijaju veoma precizni i pouzdani rezultati za relativno kratko vreme u poređenju sa poznatim metodama i primenom klasičnih mernih instrumenata. Time se postižu pozitivniji tehno-ekonomski efekti, što predstavlja suštinu i krajnji cilj predložene metode. Navedena konstatacija ima opšti značaj, što znači da se navedena merna oprema i predložena metoda mogu primeniti za rešavanje raznih tehničkih problema, a ne samo za problematiku obrađenu u ovom radu.

#### 5. LITERATURA

- [1] B. Mitraković, N. Lj. Nikolić: *Asinhrona mašine*, Naučna knjiga, Beograd, 1991.
- [2] M. Ranjević: *Osnovi elektrotehnike*, Univerzitet u Beogradu, Građevinska knjiga, Beograd, 1971.
- [3] M. Ranjević: *Zbirka zadataka iz osnova elektrotehnike*, Univerzitet u Beogradu, Građevinska knjiga, Beograd, 1971.
- [4] B. Popović: *Osnovi elektrotehnike 2*, Univerzitet u Novom Sadu, Građevinska knjiga, Beograd, 1978.
- [5] S. Milojković: *Teorija električnih kola*, Svetlost, Sarajevo, 1987.
- [6] A. Todorović: *Laboratorijske vežbe iz električnih mašina*, Viša tehnička škola, Zvečan, 1995.
- [7] Nacional instruments, LabVIEW development guidelines, NI Corporation, 2000.
- [8] Nacional instruments, Integrating the internet into your measurement system, Data Cocks technical overview, NI Corporation, 2000.
- [9] Nacional instruments, LabVIEW analysis concepts, NI Corporation, 2000.
- [10] Nacional instruments, LabVIEW getting started with LabVIEW, NI Corporation, 2000.
- [11] Nacional instruments, LabVIEW measurements manual, NI Corporation, 2000.

**PRACTICAL PROCEDURE FOR DETERMINATION OF ENERGY  
BALANCE OF ALTERNATIVE ELECTRIC POWER SOURCES BASED  
ON ACTUAL VALUES OF POTENTIAL AND ELECTRIC CURRENT**

**ABSTRACT:**

In this paper it was showed determination of energetic balance of alternative sources of electric power by measured moment values of complex periodical voltages and currents. It is obtained by application of modern measuring computers equipment and Lab view program, where, with several thousand numerical data in time domain, on the selected time intervals from 10 to 300  $\mu\text{s}$ , there are obtained adequate values. However, complex periodical time functions are firstly decomposed to a Furrier line, and after that with determined harmoniums there will be determined: effective values of complex periodical voltage and current, phase and starting phase of the most dominant harmonium, basic frequencies, phase difference between voltage and current, power factor  $\cos\phi$  and then every powers of alternative energy source.

