

Sistem za detekciju monofaznih potrošača koji unose harmonijska izobličenja

Dejan Stevanović, Predrag Petković, *Member, IEEE*

Apstrakt— U ovom radu biće opisan sistem za pouzdanu detekciju izvora harmonijskih izobličenja baziran na modifikovanom standardnom elektronskom brojilu. Sistem je implementiran na Alterinoj DE2 razvojnoj ploči. U kombinaciji sa već postojećim elektronskim brojilima ovaj sistem omogućava distributeru električne energije preciznu detekciju prisustva nelinearnih potrošača u elektro-distributivnoj mreži. Simultano, omogućeno je tačno lociranje potrošača koji predstavljaju izvor harmonijskih izobličenja. Sistem je zasnovan na primeni Budeanove jednačine za izračunavanje snage izobličenja. Ova veličina se pokazala kao najbolji indikator prisustva izvora harmonijskih izobličenja (nelinearnih potrošača). Rezultati merenja koji su prikazani u ovom radu za različite tipove potrošača potvrđuju ispravnost predloženog koncepta i funkcionalnost samog sistema.

Ključne reči—Snaga izobličenja; FPGA; Elektro-energetski sistem.

I. UVOD

RAZVOJ elektronike omogućio je proizvodnju pametnih, energetski efikasnih kućnih uređaja. Njihova primena doprinela je značajnoj uštedi u potrošnji električne energije a samim tim i smanjenju emisije CO₂. Na prvi pogled izgleda da je napravljen značajan napredak bez negativnih posledica. Nažalost, to nije potpuno tačno. Naime, savremeni elektronski uređaji baziraju rad na jednosmernom naponu a napajaju se naizmjeničnim. Proces konverzije naizmjeničnog u jednosmerni napon obavlja se pomoću AC/DC pretvarača. Da bi se povećala efikasnost konverzije neophodno je obezbediti minimalne gubitke u samom pretvaraču. To se postiže radom tranzistora u prekidačkom režimu tako da je struja kroz njih najveća kada je napon na njima nula i obrnuto. Tranzistori rade na frekvenciji od nekoliko kHz. Kao posledica ovog režima rada, uređaji se ponašaju kao izuzetno nelinearni potrošači što se manifestuje impulsnom potrošnjom struje. Sa stanovišta celog elektroenergetskog sistema (EES) to znači da struja ne prati prostoperiodični talasni oblik napona nego je bogata harmonicima. Harmonijske komponente struje protiču kroz EES i na konačnoj impedansi vodova stvaraju dodatne harmonijske komponente napona. To dovodi do promene u talasnom obliku napona kod svih potrošača koji se nalaze u blizini a samim tim i u samom EES. Usled postojanja harmonika u EES dolazi do pojave brojnih neželjenih pojava kako kod potrošača tako i u komponentama distributivnog

Dejan Stevanović - Inovacioni centar naprednih tehnologija CNT d.o.o, Vojvode Mišića 58/2, 18000 Niš, Srbija (e-mail: dejan.stevanovic@icnt.rs).

Predrag Petković - Elektronski fakultet, Univerzitet u Nišu, Aleksandra Medvedeva 14, 18000 Niš, Srbija (e-mail: predrag.petkovic@elfak.ni.ac.rs).

sistema [1-5]. U cilju očuvanja EES, referentne međunarodne organizacije donose standarde kojima se ograničava maksimalna dozvoljena vrednost harmonika. Najpoznatiji standardi iz ove oblasti su IEEE 519-1992, IEC standardi serije 61000 i EN 50160. Njima se ne definiše metod i/ili indeks koji će se koristiti za detekciju dominantnog izvora harmonijskih izobličenja. Kao posledica toga, trenutno u literaturi i praksi postoje mnogobrojni metodi koji mogu da se koriste za detekciju izvora harmonijskih izobličenja. U Tabeli I dat je pregled postojećih metoda za detekciju izvora harmonijskih izobličenja.

TABELA I
PREGLED POSTOJEĆIH METODA ZA DETEKCIJU IZVORA HARMONIJSKIH IZOBLIČENJA

Metod	Potrebni podaci	Cilj
Praćenje znaka harmonijske aktivne snage [6]	Napon i struja, dobijeni merenjem u PCC tački	Detekcija izvora izobličenja
Praćenje znaka harmonijske reaktivne snage[6]		
Metod zasnovan na merenju neaktivne snage[7],[8]		
Rangiranje na osnovu harmonijskih izobličenja [9]	Struja dobijana merenjem u PCC tački	
Metod zasnovan na određivanju vrednosti impedanse [10]	Tevenovo ekvivalentno kolo potrošača i elekto-energetskog sistema	Podela odgovornosti između potrošača i elekto-energetskog sistema

Prednosti i nedostaci metoda iz Tabele I dati su u [11]. Njihova praktična implementacija je veoma komplikovana, što ih čini neprimenljivim na nivou standardnih elektronskih brojila. Naše mišljenje je da postoji efikasniji i jednostavniji način za detekciju izvora harmonijskih izobličenja. Jedan takav sistem koji predstavlja nadogradnju elektronskog brojila koje proizvodi EWG iz Niša biće opisan u ovom radu.

U narednoj sekciji biće objašnjen princip rada standardnog elektronskog brojila. Realizacija sistema data je u sekciji tri, dok su mereni rezultati koji potvrđuju funkcionalnost samog sistema dati u četvrtom delu pre zaključka.

II. OSNOVNI PRINCIP RADA ELEKTRONSKIH BROJILA

Srcu svakog elektronskog brojila predstavlja integrisano kolo u kome se računaju parametri elektro energetske mreže od interesa za EES. Osnovni princip rada ovih kola zasniva se na digitalnoj obradi trenutnih vrednosti napona i struje. Vrednost napona se preko naponskog razdelnika vodi na ADC gde se uzorkuje (sempluje) u diskretnim vremenskim trenucima (najmanje dva po periodu, prema Nyquist-Shannonovoj teoremi) i digitalizuje. Istovremeno se naponski ekvivalent struje, dobijen uz pomoć strujnog transformatora, konvertuje u digitalnu vrednost preko odgovarajućeg ADC. Dobijene diskretizovane i digitalizovane vrednosti obrađuju se u DSP-u. Trenutna vrednost signala (napona ili struje) može se predstaviti sa:

$$x(t) = \sqrt{2} \cdot \sum_{h=1}^M X_{RMS_h} \cdot \cos(2\pi f_h t + \varphi_h), \quad (1)$$

gde je h red harmonika a M najveći harmonik.

Posle diskretizacije po vremenu dobija se

$$x(nT) = \sqrt{2} \cdot \sum_{h=1}^M X_{RMS_h} \cdot \cos(2\pi \frac{f_h}{f_{semp}} n + \varphi_h), \quad (2)$$

gde f predstavlja frekvenciju signala mreže od 50Hz (60Hz) dok f_{semp} označava frekvencija uzorkovanja signala struje i napona. Efektivna vrednost signala računa se po formuli

$$X_{RMS} = \sqrt{\frac{\sum_{n=1}^N x(nT)^2}{N}}, \quad (3)$$

gde N označava ukupan broj uzoraka u sekundi. Trenutna vrednost aktivne snage dobija se množenjem trenutnih vrednosti struje i napona, a njena srednja vrednost računa se kao:

$$P = \frac{\sum_{n=1}^N v(nT)i(nT)}{N} = \frac{\sum_{n=1}^N p(nT)}{N}. \quad (4)$$

Za izračunavanje reaktivne snage koristi se prethodna jednačina, s tim što su uzorci napona pomereni za $\pi/2$. Prividna snaga računa se kao proizvod efektivnih vrednosti napona i struje (5).

$$S = V_{RMS} \cdot I_{RMS} \quad (5)$$

Prilikom izračunavanja vrednosti aktivne, reaktivne snage može doći do pojave male greške. Ova greška se javlja kao rezultat fazne razlike između napona i struje i činjenice da se vrednost linijske frekvencije malo razlikuje od njene nominalne vrednosti (50Hz). Ove greške se eliminišu nakon kalibracije samog elektronskog brojila.

Nakon izračunavanja aktivne (4), reaktivne i prividne snage (5) može se izračunati vrednost snage izobličenja po Budeanovoj definiciji kao:

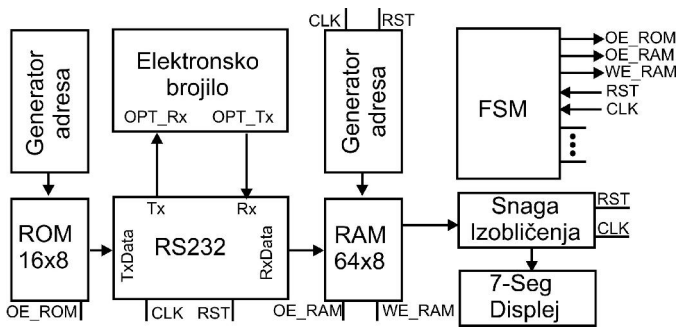
$$D = \sqrt{S^2 - P^2 - Q^2} \quad (6)$$

U praksi je potvrđeno da je dobijena vrednost na osnovu izraza (6) u direktnoj korelaciji sa nivoom zastupljenosti harmonika struje [12]. Kao što smo na samom početku rekli, postojanje harmonika u EES izaziva mnogobrojne neželjene pojave kako kod potrošača tako i u samom sistemu. Ukoliko postoji želja od strane distributera da se smanji nivo harmonika u samom sistemu potrebna je odgovarajuća oprema koja može da ih meri. Šta više najbolje bi bilo kad bi to moglo da se uradi na nivou priključenja svakog potrošača (domaćinstvo i/ili industrija) ponaosob, uz pomoć elektronskog brojila. Jedno takvo rešenje biće opisano u sledećoj sekciji.

III. HARDVERSKA REALIZACIJA SISTEMA

Do sada se, u praksi, koristilo nekoliko metoda za detekciju izvora harmonijskih izobličenja [6], [7], [8], [9], [10]. Nakon detaljne analize opisanih metoda dolazi se do zaključka da se njihova primena bazira uglavnom na nivou trafo stanica. Samim tim, oni ne mogu da lociraju pojedinačne potrošače koji unose harmonijska izobličenja u mrežu. Zbog toga su autori ovog rada inspirisani da ponude jedno efikasno i lako primenjivo rešenje. Kao što smo pokazali u nekim ranije objavljenim radovima [13], vrednost snage izobličenja se pokazala kao dobar indikator postojanja izvora izobličenja. U našoj zemlji počela je zamena starih elektromehaničkih brojila novim elektronskim brojilima. Nažalost, zbog nedovoljne svesti o značaju i veličini snage izobličenja koju unose savremeni elektronski uređaji, u njima ne postoji opcija registrovanja ove komponente snage, odnosno energije. Da ceo proces zamene brojila ne bi bio uzaludan, u ovom radu nudimo rešenje koje može da se koristi kao nadogradnja već postojećim elektronskim brojilima. Njegovom primenom postojeća brojila bi se lako modifikovala a direktnom implementacijom u buduća, obzbedilo bi se smanjenje finansijskih gubitaka koji nastaju kao posledica neregistrovanja snage izobličenja. Kao što će biti pokazano na realnim primerima u narednom odeljku, snaga izobličenja kod većine savremenih uređaja istog je reda veličine kao aktivna, a daleko veća od reaktivne komponente snage.

Prototip predloženog sistema realizovan je na alterinoj DE2 razvojnoj ploči koja sadrži FPGA (Cyclone® II 2C35). Blok dijagram realizovanog sistema prikazan je na Sl.1.



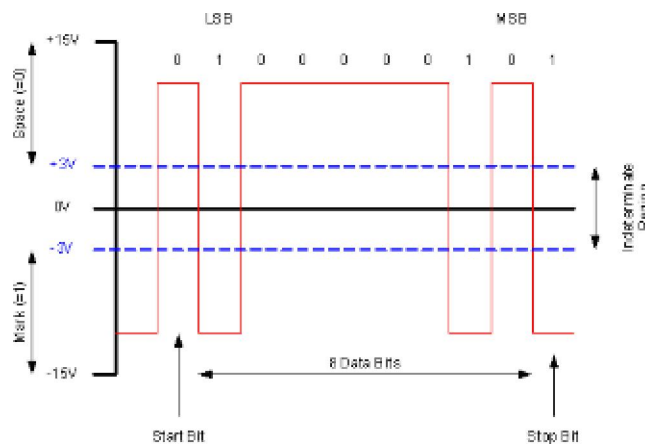
Sl. 1. Blok dijagram sistema za detekciju izvora harmonijskog izobličenja

Kao što se vidi sa Sl.1 realizovani sistem sastoji se od: RAM i ROM memorija, dva bloka za generisanje adrese za oba tipa memorije, RS232 interfejsa, kontrolne logike u obliku konačnog automata, kola za računanje snage izobličenja i interfejsa za 7-segmentni displej. Komunikacijom između blokova upravlja se pomoću konačnog automata. ROM memorija se koristi za smeštaj komandi koje se šalju brojlju, dok se RAM memorija koristi za memorisanje dobijenih podataka. Komunikacija između sistema realizovanog na razvojnoj ploči i samog elektronskog brojlja urađena je pomoću RS232 i optičkog porta. Ceo proces komunikacije obavlja se u dva koraka. Na početku sistem šalje komandu brojlju i zahteva informaciju o efektivnoj vrednosti napona i struje. Nakon što se prime ovi podaci, sistem automatski šalje zahtev za informaciju o vrednosti aktivne i reaktivne snage. Podaci se primaju preko RS232 porta u BCD formatu.

A. RS232

RS232 predstavlja veoma popularan vid serijske komunikacije kojim se razmenju podaci između dva uređaja. Prvobitna verzija ovog interfejsa razvijena je za potrebe povezivanja računara i perifernih uređaja. Šta više ovaj interfejs predstavlja sastavni deo svih mikrokontrolera i u kombinaciji sa UART integrisanim kolima (npr. MAX232) omogućava međusobnu komunikaciju dva sistema realizovana pomoću mikrokontrolera. Prilikom slanja podatka prvo se šalje *start bit* koji predstavlja pozitivan napon (0) praćen podacima (obično 8 bita a u nekim slučajevima 5, 6, 7), na kraju se šalje *stop bit* koji je predstavljen negativnim naponom (1). U nekim slučajevima, pre nego što se pošalje stop bit, šalje se *parity bit* pomoću kojeg se proverava da li je došlo do greške tokom prenosa podatka. Vrednost *parity bita* može biti "1" ili "0" u zavisnosti da li se koristi parna i neparna provera parnosti.

RS232 standardom definiše se da vrednost logičke jedinice kao negativan napon opsega od -15V do -5V a vrednost logičke nule kao pozitivan napon opsega od +5V do +15V. Takođe, ovim standardom se garantuje da će uspešno biti detektovan signal čija je vrednost najmanje 3V. Na ovaj način se obezbeđuje tolerancija usled slabljenja koje se javlja na prenosnim linijam. Talasni oblik poslatog podatka preko UART Tx pina prikazan je na Sl.2.

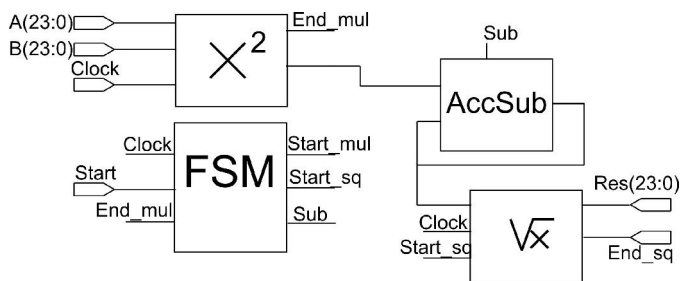


Sl. 2. Talasni oblik poslatog bajta

Brzina kojom se šalju podaci (*baud rate*) zavisi od uređaja do uređaja. Uglavnom se kreće u opsegu od 300 do 230400 bit/s. Struktura realizovanog RS232 interfejsa je veoma jednostavna i sastoji se od dva *shift* registra. Prvi *shift* registar prihvata ulazni 8-bitni podatak preko TxData(7:0) porta, konvertuje ga u serijsku jednobitnu informaciju i šalje preko Tx pin. Tokom slanja podatka preko Tx pina, odgovarajući pin je resetovan i pokazuje nam da proces komunikacije još uvek traje. Pojava rastuće ivice na ovom pinu označava da može početi prenos narednog podatka Drugi *shift* registar se koristi za prihvatanje serijskog podatka i njegovo prevođenje u paralelnu reč. Takođe, tokom prijema, odgovarajući pin je resetovan čime se ukazuje da je proces prijema u toku dok rastuća ivica na ovom pinu označava da se može krenuti sa prijemom narednog podatka.

B. Blok za računanje snage izobličenja

Unutrašnja struktura bloka za računanje snage izobličenja prikazana je na Sl. 3. On se sastoji od kola za množenje, kola za korenovanje, kola za akumuliranje i oduzimanje i kontrolne logike u vidu konačnog automata.



Sl. 3. Blok šema kola za računanje snage izobličenja

Podaci koji su primljeni preko RS232 porta o efektivnoj vrednosti napona/struje, aktivne i reaktivne snage smešteni su u RAM memoriju. Svaki primljeni podatak je predstavljen sa po 3 bajta, zbog čega je potrebno povezati sva tri u jednu reč od 24 bita. Najpre je potrebno primljene podatke konvertovati iz BCD formatu u binarni oblik. Konverzija se radi primenom *Shift and Sub-3 algoritma*. Proces konverzije je veoma jednostavan. Ulazna reč se podeli u grupe od po 4 bita, koji

prestavljaju jedan BCD broj. Zatim se svaka grupa ponaosob ispituje da li predstavlja broj jednak ili veći od 8; ukoliko jeste oduzme se 3 i pomeri se za jednu poziciju udesno. Proces pomeranja ponovi se 24 puta.

Kada se završi konverzija, setuje se signal *Start* i kolo za množenje prihvata podatke o efektivnoj vrednosti napona i struje koji dolaze preko ulaznih portova $A(23:0)$, $B(23:0)$ i računa prividnu snagu S . Proces množenja traje 24 taktna ciklusa. Nakon toga, računa se vrednost S^2 i smešta u akumulator. Zatim se kvadrira vrednost učitane aktivne snage P i dobijena vrednost se oduzme od vrednosti prividne snage koja je smeštena u akumulatoru. Postupak se ponavlja i za reaktivnu snagu Q . Na kraju se dobijena vrednost šalje na ulaz kola za korenovanje. Nakon 48 taktnih ciklusa na izlazu kola za korenovanje dobija se vrednost snage izobličenja D . Za realizaciju kola za množenja i kola za korenovanja korišćeni su iterativni algoritmi, što čini ova kola veoma brzim. Detaljnije informacije o realizaciji kola za korenovanja mogu se naći u [14].

IV. MERENI REZULTATI

Funkcionalna verifikacija realizovanog sistema urađena je merenjima na različitim tipovima potrošača koji se najčešće koriste u kancelarijama i domaćinstvu. Nominalna snaga ovih potrošača je mala. Naša namera prilikom testiranja ovog sistema bila je da pokažemo da se i male vrednosti snage izobličenja mogu uspešno detektovati. Ovo je tačno čak i u prisustvu velikih potrošača. Ovo omogućava povećana tačnost merenja koju nude standardna elektronska brojila. Njihov dinamički opseg merenja trenutnih vrednosti napona i struje iznosi preko 80dB. To znači da imaju rezoluciju veću od $13\frac{1}{2}$ bita. U najnepovoljnijem opsegu malih snaga (za struje ispod 2A) elektronska brojila zadovoljavaju klasu 0,5 za aktivnu i 1

za reaktivnu snagu. Trenutno postoji tendencija da se tačnost merenja standardnim elektronskim brojilima poveća [15], čime će se povećati i tačnost merenja snage izobličenja.

Na Sl.4 prikazan je realizovan sistem povezan sa elektronskim brojilom koje proizvodi EWG iz Niša [16]. Korišćeno brojilo u potpunosti ispunjava standard IEC 62052-11 [17]. U skladu sa standardom brojilo meri I_{RMS} , V_{RMS} , P i Q_B , saglasno jednačinama (3), (4). Kao što se vidi sa Sl.4 komunikacija između brojila i sistema obavlja se preko optičkog porta (brojilo) i RS232 porta (Altera DE2 poloča). Realizovan sistem je primenljiv na svim brojilima sa optičkom glavom.

Rezultati merenja različitih tipova potrošača prikazani su u Tabeli II. Podaci o naponu, struji, aktivnoj i reaktivnoj snazi prikazani u Tabeli II dobijeni su direktno iz brojila. Vrednost snage izobličenja izračunava se na Alterinoj razvojnoj ploči i prikazuje na 7-Seg displeju.



Sl. 4 Realizovan sistem za izračunavanje snage izobličenja

TABELA II
REZULTATI MERENJA RAZLIČITIH TIPOVA POTROŠAČA

Potrošač	U_{RMS}	I_{RMS}	S	P	Q	D	$D/S[\%]$	$D/P[\%]$
Sijalica 100W	222.82	0.33	73.53	73.48	0.69	2.64	3.59	4.89
FL18W	218.62	0.08	17.49	11.33	-5.80	11.99	68.58	105.83
CFL20Wbulb	218.55	0.13	29.07	18.30	-8.81	20.79	71.54	113.61
CFL 15Wbulb	219.74	0.09	19.56	12.10	-5.51	14.34	73.34	118.51
CFL 11Whelix	221.73	0.08	17.74	10.42	-5.38	13.31	75.03	127.74
CFL 9Wbulb	216.06	0.06	12.75	7.58	-3.64	9.58	75.16	126.39
CFL 7Wspot	217.75	0.04	9.58	5.83	-2.87	7.04	73.48	120.75
CFL 15Whelix	218.55	0.15	32.13	18.95	-10.26	23.83	74.17	125.75
LED Parlamp(6x1.5W)	217.51	0.114	24.80	12.89	-2.74	21.00	84.71	162.92
LED Bulb(6x1W)White	217.85	0.045	9.80	8.34	-0.16	5.15	52.53	61.75
LED Bulb 3x1W	217.9	0.034	7.41	3.96	-0.89	6.20	83.66	156.57
LED MiniBulb3x1W	215.86	0.034	7.34	3.91	-1	6.13	83.52	156.78
BENQ G2220HDA	223.37	0.176	39.31	20.13	-5.46	33.32	84.77	165.54
BENQ G2320HDBL	222.9	0.179	39.90	23.65	-4.67	31.79	79.68	134.43
LG W2241S	223.88	0.289	64.70	40.28	-9.40	49.75	76.90	123.52
DELL-Optiplex980	221.25	0.30	66.15	55.83	-33.05	12.92	19.54	23.15

Za sijalicu sa užarenim vlaknom koja predstavlja grupu linearnih otpornih potrošača, snaga izobličenja trebala bi biti jednaka nuli. Kao što se vidi iz Tabele II to nije slučaj. Vrednost snage izobličenja sijalice je manja od 4% u odnosu na vrednost prividne snage. Mala vrednost snage izobličenja kod linearnih otpornih potrošača je posledica dozvoljene greške merenja merne grupe. Vrednost snage izobličenja kod ostalih potrošača prikazanih u Tabeli II je daleko veća nego što je to slučaj kod sijalice. Šta više podaci iz Tabele II pokazuju da vrednost snage izobličenja kod nelinearnih potrošača nije zanemarljiva! Njena vrednost premašuje vrednost aktivne snage koja se, inače, registruje i naplaćuje. To znači da distributer beleži značajne gubitke po ovom osnovu. Naravno oni se pokrivaju kroz povećanu cenu koju plaćaju i korisnici koji nemaju nelinearne potrošače. Na osnovu podataka iz Tabele II, može se videti da se gubici koji se javljaju usled neregistrovanja snage izobličenja kreću u granicama od 68% (FL18W) do 85% prividne snage što je slučaj kod Benq monitora G2220HDA.

V. ZAKLJUČAK

U ovom radu predstavljen je monofazni sistem koji se koristi za detekciju izvora harmonijskih izobličenja baziran na merenju snage izobličenja. Prednost ovog sistema leži u činjenici da se može koristiti kao dodatak postojećim, već ugrađenim standardnim elektronskim brojlama koja ne registruju aktivnu, reaktivnu snagu i efektivne vrednosti napona i struje. Rezultati prikazani u Tabeli II pokazuju da distributeri električne energije imaju značajne gubitke usled ne registrovanja snage/energije izobličenja. Realizovani sistem ima mogućnost da detektuje i kvantitativno pokaže stepen nelinearnih izobličenja koje u EES unosi svaki pojedinačni korisnik. Ova osobina čini predloženo rešenje jedinstvenim na tržištu. Primenom opisanog sistema distributer električne energije dobija mogućnost da promenom tarifne politike destimuliše korisnike da priključuju velike nelinearne potrošače. Istovremeno, time se štite korisnici linearnih potrošača od naplate troškova izazvanih gubicima generisanim u nelinearnim potrošačima. Posredno, uvođenje ovog sistema povećaće svest o značaju i uticaju nelinearnih potrošača, tako da će se veća pažnja posvećivati filtriranju viših harmonika. Generalno, poboljšaće se kvalitet napona u EES i umanjiti gubici izazvani havarijom skupe opreme koja je osetljiva na prisustvo harmonika.

ZAHVALNICA

Rezultati prikazani u ovom radu ostvareni su u okviru projekta TR 32004 čiju realizaciju finansira Ministarstvo prosvete, nauke i tehnološkog razvoja Republike Srbije.

LITERATURA

- [1] G.K. Singh: "Power system harmonics research a survey", European Transactions on Electrical Power, vol.19, pp. 151-172, 2007
- [2] "Harmonic Distortion in the Electric Supply System" Integral Energy Power Quality Centre: Technical note No. 3, March, 2000

- [3] D. Stevanović, P. Petković: "Harmonics in Power System Problems and Solutions (in Serbian*)", Proc. of XII International Scientific Symposium INFOTEH@-JAHORINA 2013, Jahorina, Bosnia and Herzegovina, 20. mart - 22. mart, 2013, pp. 203-208.
- [4] D. Stevanović, B. Jovanović, P. Petković: "Simulation of Utility Losses Caused by Nonlinear Loads at Power Grid", Proc. of Small System Simulation Symposium 2012, Niš, Serbia, 12.02.-14.02., 2012, pp. 155-160.
- [5] D. Stevanović, P. Petković: "The Losses at Power Grid Caused by Small Nonlinear Loads", *Serbian Journal of Electrical Engineering*, Volume 10, No. 1, February 2013, Čačak, Serbia, pp. 209-217, 2013.
- [6] W. Xu, X. Liu, Y. Liu. "An investigation on the validity of power-direction method for harmonic source determination". *IEEE Trans. Power Del.*, Vol. 18, No. 1, pp.214 - 219, 2003.
- [7] A. Cataliotti, V. Cosentino. "Disturbing loads identification in power systems: a single-point time-domain method based on the IEEE 1459-2000". *IEEE Trans. Instrum. Meas.*, Vol. 58, No.5, pp.1436-1445, 2009.
- [8] A. Cataliotti, V. Cosentino. "A single-point approach based on IEEE 1459-2000 for the identification of prevailing harmonic sources detection in distorted three phase power systems". *Metrol. Meas. Syst.*, Vol. 16, No.2, pp.209-218, 2009.
- [9] S. Lee, J. W.Park. "New power quality index in a distribution power system by using RMP model". *IEEE Tran. on Industrial Applications*, Vol. 46, No.3, pp.1204 - 1211, 2010.
- [10] L. Chun, W. Xu, T. Tayjasanant. "A critical impedance based method for identifying harmonic sources". *IEEE Trans. Power Del.*, Vol. 19, No.2, pp.671-678, 2004.
- [11] D. Stevanović, P. Petković: "A single-point method based on distortion power for the detection of harmonic sources in power system". *Metrol. Meas. Syst.*, Vol. 21, No 1, pp.3-14, March, 2013.
- [12] M. Dimitrijević: "Elektronski sistem za analizu polifaznih opterećenja baziran na FPGA", Doktorska disertacija, Elektronski fakultet u Nišu, Univerzitet u Nišu, 07.12.2012.
- [13] D. Stevanović, P. Petković: "The Efficient Technique for Harmonic Sources Detection at Power Grid", *Przeglad Elektrotechniczny*, pp. 196-199, 2012.
- [14] B. Jovanović, M. Damjanović, V. Litovski.: "Square Root on Chip", *ETF Journal of Electrical Engineering*, A Publication of the EE Department, University of Montenegro, Vol. 12, pp. 65-75, May, 2004
- [15] L.A. Irwin, "A high accuracy standard for electricity meters", Proc. Of *Transmission and Distribution Conference and Exposition, 2010 IEEE PES*, New Orleans, LA, USA, 19-22 April 2010, pp. 1-3, ISBN 978-1-4244-6546-0, DOI 10.1109/TDC.2010.5484291
- [16] EWG - multi metering solutions, www.ewg.rs
- [17] *Electricity metering equipment (AC) - General requirements, tests and test conditions - Part 11: Metering equipment*, IEC 62052-11, February, 2003.

ABSTRACT

This paper presents a system for harmonic source detection at power grid It is implemented at Altera DE2 board. In combination with commercial power meter it represents powerful tool that allows utility to find each harmonic producer (nonlinear load). The base of this system is equation for distortion power calculation according to Budeanu definition. This equation showed up as the best indicator whether harmonic producer exists, or not at power grid. Measurement results that are obtained using this system confirmed our theory and verified functionality of the system.

System for detection consumers who pollute the single phase power grid with harmonics

Dejan Stevanović, Predrag Petković