

Identifikacija izvora harmonijskog zagađenja merenjem snage distorzije

Stevanović D., Jovanović B., Petković P.

LEDA laboratorija, Elektronski fakultet, Univerzitet u Nišu, Srbija

desha@venus.elfak.ni.ac.rs, borisav.jovanovic@elfak.ni.ac.rs, predrag.petkovic@elfak.ni.ac.rs

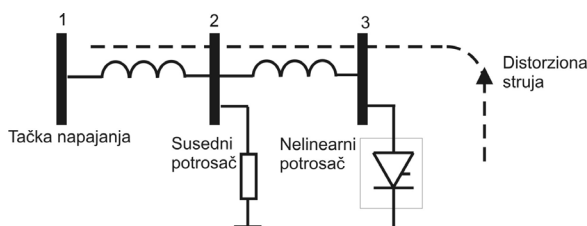
Sadržaj – U ovom radu biće urađena kratka analiza uticaja nelinearnih potrošača na elektroenergetski sistem, kao i mogućnost njihove identifikacije. Prikazano je i hardversko rešenje kola za identifikaciju nelinearnog potrošača na mreži, koje je sastavni deo Integrisanog Merača Potrošnje Električne Energije. Kolo je realizovano u CMOS 0.35 μ m tehnologiji korišćenjem alata iz Cadence paketa za projektovanje integrisanih kola.

Ključne reči - snaga distorzije; nelinearni potrošač

I. UVOD

U zavisnosti od talasnog oblika struje koju potrošači vuku iz elektroenergetskog sistema, svi potrošači mogu da se svrstaju u dve grupe: u linearne i nelinearne. Linearne potrošači su oni koji povlače struju prostoperiodičnog talasnog oblika frekvencije 50Hz, odnosno 60Hz, tj. kod njih je talasni oblik struje isti kao talasni oblik napona. Istorijski gledano, do skora su se uglavnom proizvodili linearni potrošači: električni motori, sijalice sa užarenim vlaknom, razna grejna tela i većina drugih uređaja koji su se koristili u domaćinstvu. Nelinearne potrošače električne energije karakteriše talasni oblik struje koji se se razlikuje od prostoperiodične funkcije napona [1]. Oni se mogu svrstati u dve grupe. U prvoj grupi mogu biti uređaji koji se koriste u kancelarijama kao što su računari, faks mašine i većina uređaja iz domaćinstva kod kojih je primenjena savremena elektronika za kontrolu rada tog uređaja, kao što su napredne veš mašine i dr. U drugoj grupi mogu se naći razne vrste DC motora kod kojih se može podešavati brzina rada. Ovi motori se uglavnom koriste u industriji, u procesu proizvodnje, kao i u liftovima.

Distorzione komponente protiču kroz energetski sistem i izazivaju dodatni visokofrekvencijski pad napona [1]. To dovodi do promene u talasnom obliku napona kod svih potrošača koji se nalaze u blizini. Na Sl. 1 je prikazano kako nelinearno opterećenje utiče na potrošače u blizini. U tački 1 izobličenje je najmanje, dok je u tački 3 najveće, zato što impedansa sistema raste sa povećanjem rastojanja između potrošača i trafo stanice a samim tim se povećava i pad napona.



Slika 1. Uticaj nelinearnog opterećenja

Nelinearno opterećenje osim što prouzrokuje pad napona, dovodi i do izobličenja talasnog oblika napona napajanja. Kao što se vidi sa Sl. 1 harmonijsko izobličenje je fenomen kod koga potrošači međusobno utiču jedan na drugi pošto su povezani na istu električnu mrežu. Sa porastom broja nelinearnih potrošača raste i veličina harmonijskog izobličenja celog sistema. Postojanje harmonijskih izobličenja utiče na rad pojedinih komponenata distributivne mreže i drugih potrošača. Ukoliko harmonijska izobličenja na mreži ne mogu da se spreče, važno ih je održavati u prihvatljivim granicama. Da bi to bilo moguće, neophodno je meriti ova izobličenja a zatim primeniti odgovarajuće mere za njihovo smanjenje. Uobičajeni način za detektovanje ovih potrošača zasnovan je na merenju RMS vrednosti struja i napona a zatim se njihovom analizom i daljom obradom dolazi do informacije o prisustvu nelinearnih potrošača u mreži. To znači da su potrebni instrumenti (ampermetri i voltmetri) koji mere pravu RMS vrednost a ne samo RMS vrednost osnovnog harmonika. Pored toga, potreban je i neki hardver za obradu i memorisanje dobijenih podataka. Takav način je veoma skup i komplikovan za sprovođenje u praksi. Ovaj rad ima za cilj da predloži novo rešenje za identifikaciju i lociranje svih nelinearnih potrošača na mreži.

Rad je organizovan u osam poglavlja. Naredno poglavlje opisuje uticaj harmonijskih izobličenja na električnu opremu. Zatim je objašnjeno kako je moguće identifikovati izvor zagađenja na mreži. U četvrtom poglavlju date su formule koje se mogu primeniti za izračunavanje osnovnih parametara mreže kada su prisutni harmonici. Peto poglavlje posvećeno je DSP bloku koji predstavlja deo sistema na čipu za merenje parametara signala elektroenergetske mreže. U šestom poglavlju prikazana je hardverska implementacija kola za računanje snage distorzije, koji predstavlja nadogradnju DSP bloka u postojećem integrisanom meraču potrošnje električne energije IMPEG [2, 3]. Dok su u sedmom poglavlju prikazani rezultati simulacija koji verifikuju rad kola za računanje distorzije. Zaključak je dat u osmom poglavlju.

II. UTICAJ HARMONIJSKIH IZOBLIČENJA NA ELEKTRIČNU OPREMU

Električna oprema različito reaguje na postojanje harmonijskih izobličenja. Na primer, harmonijski izobličen napon uopšte ne utiče na rad sijalica sa užarenim vlaknom. Sa druge strane, kod induktorskog motora, izobličen napon izaziva grejanje namotaja čime se smanjuje životni vek motora [1]. Pojedini uređaji zahtevaju veoma precizan napon napajanja. Primer za takvu opremu predstavljaju svi uređaji

koji sadrže tiristore (prigušivači svetla ili aparati za zavarivanje).

Harmonijska izobločenja prouzrokovana nelinearnim potrošačima negativno utiču i na trofazni sistem. To za posledicu može imati da neutralna struja premaši vrednost aktivne linijske struje. Kada ne postoji harmonijsko izobličenje, struja kroz nulti provodnik je veoma mala. Ukoliko je zastupljenost harmonijskog izobličenja duž monofaznog sistema visoka, postoji opasnost od preopterećenja neutralnog provodnika što može prouzrokovati:

- Pregrevanje neutralnog provodnika, samim tim se smanjuje životni vek tog provodnika a može doći i do pojave požara
- Poznato je da visoki napon između nule i zemlje može uticati na rad digitalne opreme i lokalne računarske mreže (LAN), ukoliko je uzemljenje loše odrađeno [4]

Osim što postojanje harmonijskih izobličenja može prouzrokovati probleme kod rada potrošača, ono takođe izaziva problem i u sistemu napajanja. Distorziona struja izaziva dodatno grejanje transformatora i samim tim smanjuje njihov životni vek. S druge strane, kod kondenzatorskih baterija distorzioni napon dovodi do pregrevanja dielektrika, i samim tim postoji mogućnost pojave eksplozija.

III. IDENTIFIKACIJA IZVORA ZAGAĐENJA NA ELEKTRO ENERGETSKOJ MREŽI

Uticaj nelinearnih potrošača u elektroenergetskim sistemima ogleda se u generisanju struje koja osim osnovne komponente sadrži i harmonike. Ova struja izaziva distorziju napona, zbog čega se moraju preduzeti mere za prevenciju i smanjenje negativnih efekata na opremu sistema i ostale potrošače. Standardi IEEE 519-1995 i IEC 1000-3 predlažu ograničenja za svaki harmonik struje ili napona bez obzira da li je izobličenje prouzrokovano od strane potrošača ili elektroenergetskog sistema, kako bi se ograničilo značajno prisustvo harmonika u mreži [5]. Ovi standardi su prihvaćeni u industriji i elektroenergetski sistemi se projektuju da rade sa ograničenjima koja ispunjavaju ove standarde [5]. Da bi se ostalo u granicama standarda, potrošači moraju da smanje vrednost harmonika struje koji premašuju ograničenje. Takođe mora se voditi računa o preventivnoj zaštiti sistema od uticaja harmonika bliskih rezonantnoj frekvenciji.

Standardi definišu dozvoljenu granicu zagađenosti sistema, ali šta se dešava ako se ograničenja naruše od strane potrošača? Postoje zagovornici dve ideje. Jedni predlažu da se takav potrošač isključi sa mreže što predstavlja oblik nasilja. Zbog toga je prihvatljivije rešenje koje se zasniva na plaćanju penala ukoliko dođe do zagađenja sistema harmonicima čija vrednost premašuje limit koji je predviđen standardima. Ovde se pojavljuju dva značajna problema:

- kako identifikovati izvor zagađenja elektroenergetskog sistema i
- kako izolovati efekat varijacije impedanse mreže.

Oba problema rešavaju se nadgledanjem zagađenosti elektroenergetskog sistema. Uspešno nadgledanje

podrazumeva merenje zagađenosti sistema i identifikovanje uzročnika tog zagađenja. Ovo nije lak posao i predstavlja veliki izazov za inženjera. Tačnost merenja podataka je jedan od osnovnih uslova za dobru analizu i korektnu identifikaciju [5]. Da bi se zagađenje sistema harmonicima uspešno nadgledalo potrebna je oprema za merenje prave RMS vrednosti struje i napona a ne samo RMS osnovnog harmonika. Nakon što se efekat harmonika uzme u obzir, potrebno je odrediti mesto gde će merači biti postavljeni. Do izobličenja napona dolazi usled interakcije između harmonika struje i impedanse sistema. Vrednost impedanse je veoma važna jer ona utiče na izobličenje napona. Jedan od nedavno objavljenih radova apostrofiru da je teško definisati ili meriti impedansu sistema [5]. U radu se predlaže procedura merenja koja je bazirana na uticaju impedanse na vrednosti napona i struja u različitim tačkama mreže. Da bi se povećala preciznost potrebno je da razlika između mernih tačaka bude što manja, što pak dovodi do povećanja cene celog sistema nadgledanja.

IV. RAČUNANJE OSNOVNIH PARAMETRA MREŽA U PRISUSTVU HARMONIKA

Kao što je u prethodnom poglavlju naglašeno, da bi se mogli identifikovati izvori harmonijskog izobličenja, tj. locirati nelinearni potrošači na mreži, potrebna je oprema koja meri osnovne parametre mreže uzimajući u obzir i harmonike. Trenutne vrednosti izobličenog napona napajanja i izobličene struje mogu se predstaviti pomoću sledeće dve formule

$$u(t) = \sum_{h=1}^N V_h \sin(\omega_h t + \alpha_h^o) \quad (1)$$

$$i(t) = \sum_{h=1}^N I_h \sin(\omega_h t + \beta_h^o) \quad (2)$$

gde V_h , I_h označavaju maksimalne vrednosti napona i struje za h -ti harmonik.

Efektivne vrednosti napona i struje čije su trenutne vrednosti date formulama (1), (2) računaju se kao:

$$V_{RMS} = \sqrt{\sum_{i=1}^m V_{RMSi}^2} \quad (3)$$

$$I_{RMS} = \sqrt{\sum_{i=1}^m I_{RMSi}^2} \quad (4)$$

gde su V_{RMSi} , i I_{RMSi} efektivne vrednosti i -tog harmonika napona i struje, respektivno.

Proizvod napona i struje na istoj frekvenciji predstavlja snagu tog harmonika. Za monofazne sisteme ukupna aktivna snaga, P i reaktivna snaga Q , definišu se kao:

$$P = \sum_{h=1}^H V_h I_h \cos(\alpha_h - \beta_h) \quad (5)$$

$$Q = \sum_{h=1}^H V_h I_h \sin(\alpha_h - \beta_h) \quad (6)$$

gde je h red harmonika a H najveći harmonik.

Doprinos harmonijskih komponenti napona i struja na ukupnu aktivnu i reaktivnu snagu manji je od 3% celokupne aktivne ili reaktivne snage [6]. Glavni doprinos harmonijskih komponenti napona i struje odnosi se na snagu distorzije. Vektorski zbir aktivne i reaktivne snage predstavlja *faznu snagu* [6] S . Njen intenzitet računa se kao:

$$S = \sqrt{P^2 + Q^2}, \quad (7)$$

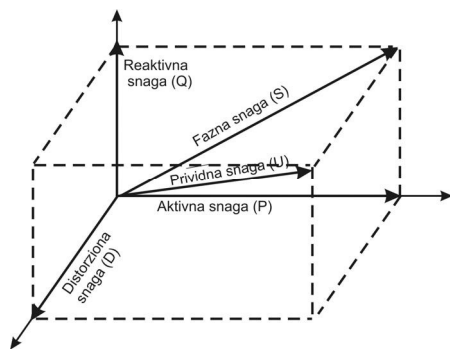
gde aktivna snaga P predstavlja algebarsku sumu aktivne snage osnovnog harmonika i aktivnih snaga svih viših harmonika (5), a Q predstavlja algebarsku sumu reaktivne snage osnovnog i svih viših harmonika (6).

S druge strane, *prividna snaga* U predstavlja vektorski zbir fazne i snage distorzije [6], tako da se njen intenzitet računa kao:

$$U = \sqrt{S^2 + D^2} = V_{RMS} * I_{RMS} \quad (8)$$

Pojam distorzionne snage D , koja je sastavni deo prividne snage U , prvi je uveo C. Budeon 1927 godine [7].

Na Sl. 2 prikazan je fazni dijagram monofaznog sistema kada struja i napon sadrže više harmonike. Na faznom dijagramu dat je geometrijski odnos između aktivne P , reaktivne Q , fazne S , distorzionne D , i prividne snage U .



Slika 2. Fazni dijagram snaga nelinearnog potrošača

Na osnovu Sl. 2 može se zaključiti da će, ukoliko se nelinearni potrošač zameni linearnim, distorziona snaga biti jednaka nuli, a samim tim će prividna snaga U biti jednaka faznoj snazi S .

V. FUNKCIJA DSP BLOKA U IMPEG ČIPU

Blok DSP predstavlja deo integrisanog merača potrošnje električne energije - IMPEG. Na osnovu trenutnih vrednosti struje i napona koje dobija iz digitalnih filtara, DSP svake sekunde računa efektivnu vrednost struje I_{RMS} , efektivnu vrednost napona V_{RMS} , aktivnu snagu P , reaktivnu snagu Q , prividnu snagu U , faktor snage $\cos(\varphi)$ i vrednost trenutne

frekvencije signala energetske mreže [2, 3]. Na osnovu vrednosti aktivne i reaktivne snage, kolo generiše impulse za svaki Wh izmerene energije. Impulsi inkrementiraju stanje u registrima DSP-a u kojima se beleži aktivna i reaktivna (potrošena ili generisana) energija.

Najpre će biti dat kratak pregled relevantnih jednačina koje opisuju funkciju DSP-a.

Trenutna vrednost struje može se predstaviti sa:

$$i(t) = \sqrt{2} I_{RMS} \cdot \cos(2\pi ft + \varphi) \quad (9)$$

Posle diskretizacije po vremenu dobija se

$$i(nT) = \sqrt{2} I_{RMS} \cdot \cos\left(2\pi \frac{f}{f_{semp}} n + \varphi\right) \quad (10)$$

gde je $f = 50\text{Hz}$, $f_{semp} = 4096\text{Hz}$, frekvencija semplovanja signala struje i napona na izlazu digitalnih filtara. Kolo računa efektivnu vrednost struje po formuli:

$$I_{RMS} = \sqrt{\frac{\sum_{n=1}^N i(nT)^2}{N}} \quad (11)$$

gde je $N=4096$. Relativna greška računanja I_{RMS} po formuli (11) zavisi od trenutne frekvencije signala. Sličan se izraz koristi prilikom izračunavanja efektivne vrednosti napona V_{RMS} . Trenutna vrednost snage dobija se množenjem trenutnih vrednosti struje i napona a srednja snaga računa se kao:

$$P = \frac{\sum_{n=1}^N p(nT)}{N} \quad (12)$$

Izvor grešaka pri računanju snage leži u mogućoj faznoj razlici signala struje i napona i činjenici da frekvencija mrežnog signala nije tačno 50Hz, pa vremenski period od $1s$ nije jednak celom broju polu-perioda mrežnog signala. Radi eliminacije grešaka, trenutne vrednosti $i^2(t)$, $u^2(t)$, $p(t)$ i $q(t)$ se filtriraju, pa tek onda akumuliraju. Prividna snaga se računa po obrascu (8).

DSP blok radi na 4.194MHz i sa relativnom greškom manjom od 0.1% računa pomenute parametre signala elektroenergetske mreže. Dinamički opseg efektivne struje je od 10mA to 100A, a napona do 300V. Arhitektura DSP-a zasnovana je *controller/datapath* podeli [2].

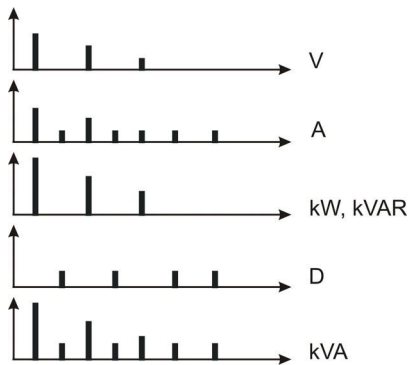
VI. REALIZACIJA KOLA ZA IDENTIFIKACIJU NELINEARNOG POTROŠAČA NA MREŽI

Na osnovu svega rečenog u poglavljima II i III možemo zaključiti da je potrebno imati informaciju o mestu gde se nalazi nelinearni potrošač. Postoje mnogobrojna rešenja od kojih se neka već koriste a neka se ispituju. Jedan od načina da se identifikuje izvor nelinearnog potrošača je korišćenje znaka aktivne harmonijske snage Ph [7]:

- ako je $Ph > 0$ onda je izvor izobličenja sam elektroenergetski sistem
- u slučaju da je $Ph < 0$ onda je izvor izobličenja sam potrošač

Ovaj način i još mnogi drugi mogu se naći u [5], [8].

U ovom radu biće predložen sasvim nov način za identifikaciju nelinearnog potrošača. Kao što se može zaključiti na osnovu trenutnih vrednosti napona (1) i struje, (2) osim osnovne komponente postoje i harmonici. Oni utiču na vrednost aktivne, reaktivne i prividne snage. Sve ovo slikovito je predstavljeno na Sl. 3.



Slika 3. Spektralne komponente napona, struje i snage

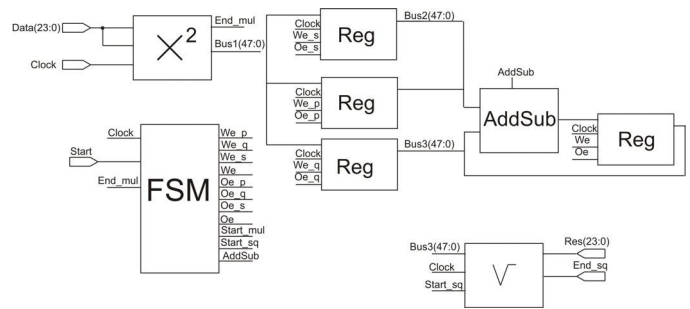
Analizirajmo sada Sl. 3. Ukoliko je na mreži priključen nelinearni potrošač onda će struja sadržati veći broj harmonika. Kao što je rečeno u poglavlju 4, harmonici napona i struje istog reda utiču na vrednost aktivne i reaktivne snage, dok ostali harmonici utiču na vrednost distorzionne snage D. Zaključujemo da je u slučaju linearnog potrošača snaga distorzije $D=0$ u suprotnom $D > 0$.

Realizovani modul računa distorzionu snagu periodično, jednom nakon svake sekunde, koristeći obrazac (13).

$$D = \sqrt{U^2 - P^2 - Q^2} \quad (13)$$

Unutrašnja struktura modula za računanje distorzionne snage prikazana je na Sl. 4. Modul se sastoji od kola za množenje, kola za korenovanje, kola za oduzimanje, bloka kontrolne logike i četiri registra.

Modul radi na sledeći način. Setovanjem signala *Start*, kolo za množenje uzima 24-bitni broj P koji se nalazi na ulaznom portu *Data In*. Nakon 24 taktna ciklusa na izlazu kola za množenje dobija se 48-bitni rezultat P^2 koji se smešta u pomoćni registar. Postupak se ponavlja za veličine Q i U. Nakon dobijanja P^2 , Q^2 , U^2 , pomoću kola za oduzimanje, dobija se broj koji se dalje šalje na ulaz kola za korenovanje.



Slika 4. Blok šema kola za računanje snage distorzije

Broj koji se korenuje je 48-bitni broj. Rezultat je 24-bitni broj, predstavljen u potpunom komplementu.

VII. REZULTATI SINTEZE I SIMULACIJE

RTL simulacija urađena je alatom Active HDL. Modul je zatim sintetizovan programom RTL Compiler iz Cadence paketa za projektovanje integrisanih kola, dok je implementacija do izrade lejauta urađena u SoC Encounter-u, takođe iz Cadence paketa. Prilikom sinteze i izrade lejauta korišćena je biblioteka standardnih ćelija MTC45000. Za realizaciju kola korišćena je AMIS CMOS 0.35 μ m tehnologija. Površina svakog dela modula prikazana je u tabeli 1.

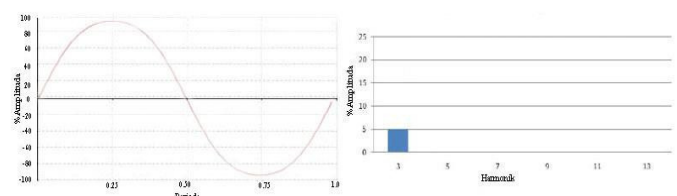
TABELA I. POVRŠINA MODULA KOJA SE DOBIJA NAKON SINTEZE

Naziv bloka	Ceo Modul	Kolo za množenje	Kolo za korenovanje	FSM	Registar	Kolo za sabiranje i oduzimanje
Površina	4164	822	788	78	416	382

Na osnovu Tabele 1 vidimo da površina modula za računanje snage distorzije iznosi 4164 gejtā. Površina kola za množenje je 822, kola za korenovanje 788. Dimenzije dobijenog lejauta su 569 μ m x 564 μ m.

Nakon implementacije lejauta, urađena je logička verifikacija rada, pri čemu su korišćene informacije o kašnjenju signala na metalnim vezama lejauta.

Pošto smo se uverili da projektovano kolo ispravno radi, pristupili smo postupku logičke verifikacije zajedničkog rada kola i DSP-a. Da bi se izračunala snaga distorzije D na osnovu formule (13), potrebno je da budu poznate brojne vrednosti za aktivnu, reaktivnu i prividnu snagu (P, Q, U respektivno). One se računaju u okviru DSP bloka koji je opisan u petom poglavlju.



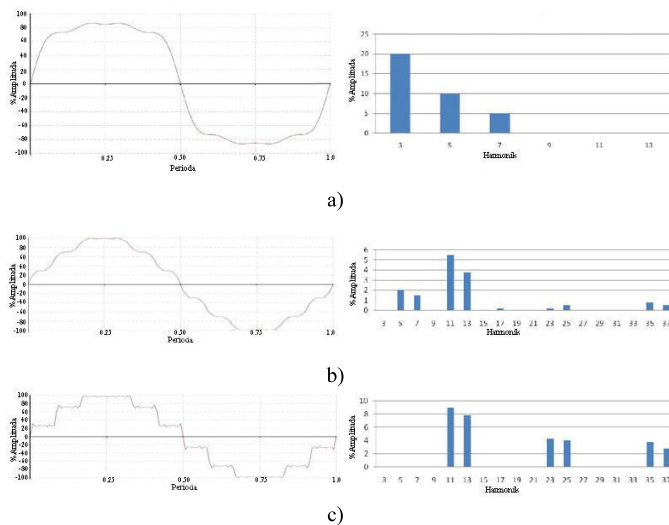
Slika 5. Talasni oblik napona napajanja i njegovi harmonici

Da bismo proverili ideju da se na osnovu snage distorzije mogu identifikovati nelinearni potrošači, simulirali smo nekoliko različitih potrošača. Pri tome su svi pobuđivani

naponom čiji je talasni oblik prikazan na Sl. 5. Da bi se što bolje simulirao realni slučaj, uvedeno je maksimalno standardom dozvoljeno izobličenje od THD=5%. (U konkretnom slučaju 5% treći harmonik). Simulirano je 5 različitih potrošača:

- Nelinearni potrošač, fluorescentna lampa
- Nelinearni potrošač, motori promenljive brzine
- Nelinearni potrošač, 12 pulsni konvertor
- Linearni potrošač, struja i napon su u fazi $\varphi=0^\circ$
- Linearni potrošač, struja kasni za naponom, $\varphi=33^\circ$

Talasni oblici struja nelinearnih potrošača kao i njihove spektralne komponente prikazani su na Sl. 6. Za linearne potrošače talasni oblik struje isti je kao na Sl. 5, samo što u slučaju pod e) struja kasni za naponom za $\varphi=33^\circ$. Dobijeni rezultati prikazani su u Tabeli 2.



Slika 6. Talasni oblici struja i njeni harmonici a) Nelinearni potrošač, fluorescentna lampa b) Nelinearni potrošač, motori promenljive brzine c) Nelinearni potrošač, 12 pulsni konvertor

TABELA II. REZULTATI SIMULACIJE POTROŠAČA ELEKTRIČNE ENERGIJE

	a)	b)	c)	d)	e)
$I_{RMS}(A)$	42.8	41.84	42.13	41.78	41.78
$U_{RMS}(V)$	125.33	125.33	125.33	125.33	125.33
P(W)	5275.16	5223.2	5223.2	5236.19	4533.62
Q(VAR)	0	0	0	0	2619.9
U(VA)	5364.32	5243.44	5279.88	5236.19	5236.19
D(VAR)	973.96	460.26	771	0	0

Kao što se vidi iz Tabele 2, u slučajevima pod d) i e) analizirani su linearni potrošači. Iako napon napajanja nije bio idealan snaga distorzije jednaka je nuli. Na prvi pogled bismo rekli da je greška ali naprotiv nije. Pošto je u pitanju linearni potrošač onda je i talasni oblik struje isti kao kod napona samo je amplituda umanjena za vrednost impedanse. Znači napon i struja imaju iste harmonike a samim tim ti harmonici učestvuju u računanju aktivne i reaktivne snage date izrazima (5), (6) respektivno.

U slučajevima pod a), b), c) radi se o izrazito nelinearnim potrošačima. Kao što se vidi sa Sl. 6, struje ovih potrošača

sadrže harmonike koji ne postoje u naponu napajanja, a rezultat toga je postojanje snage distorzije. Vrednost snage distorzije je veća ukoliko struja sadrži veći broj harmonika. Ukoliko je talasni oblik struje u obliku pravougaonog impulsa, onda vrednost snage distorzije dostiže 46% aktivne snage [9]

VIII. ZAKLJUČAK

Na osnovu dobijenih rešenja vidi se da se merenjem snage distorzije veoma lako mogu identifikovati izvori zagađenja elektroenergetske mreže. Prednost ovog rešenja u odnosu na druga predložena rešenja ogleda se u tome što je potreban minimalan hardver za nadgradnju DSP bloka koji je ugrađen u kolo integrisanog merača potrošnje električne energije, koji omogućuje identifikaciju svih izvora zagađenja na mreži. Takođe, osim što se vrednost snage distorzije može koristiti za identifikaciju izvora zagađenja, ona se može koristiti i za određivanje iznosa koji nesavesni potrošači treba da plate distribuciji za pričinjene gubitke, kako bismo svi težili da smanjimo vrednost harmonika.

LITERATURA

- [1] Integral Energy Power Quality Centre, Harmonic distortion in the electric supply system, Technical note, No. 3, University of Wollongong, March 2000
- [2] B. Jovanovic, M. Damjanović, P. Petković, "Digital signal processing for an integrated power meter", Proceedings of 49. Internationales Wissenschaftliches Kolloquium, Technische Universität Ilmenau, Ilmenau, Germany, vol. 2, pp. 190-195, September 2004
- [3] B. Jovanović, M. Damjanović, "Digital signal processing in three-phase integrated power meter", Proc. of the 52th ETRAN Conference, Palić, June 2008, EL2.3-1-4.
- [4] T. Shaughnessy, Clearing up neutral-to-ground voltage confusion, Electrical Construction & Maintenance, February 1, 2007.
- [5] Y. Alhazmi, Allocating power quality monitors in electrical distribution systems to measure and detect harmonics pollution, Electronic Theses and Dissertations, University of Waterloo, Ontario, Canada, 2010
- [6] J. G. Webster, The measurement, instrumentation, and sensors handbook, IEEE Press, 1999
- [7] A. E. Emanuel, "Summary of IEEE standard 1459: definitions for the measurement of electric power quantities under sinusoidal, nonsinusoidal, balanced, or unbalanced conditions", IEEE Tran. On Industrial Applications, Vol. 40, No3, May 2004.
- [8] A. Cataliotti, V. Cosentino, "A single-point approach based on IEEE 1459-2000 for the identification of detection of prevailing harmonic sources in distorted three phase power systems", Proc. of the Metrology and Measurement Systems, ISSN 0860-8229
- [9] D. Stevanović, B. Jovanovic, "Izračunavanje snage distorzije u integrisanom meraču potrošnje električne energije" Proc. of the 54th ETRAN Conference, Donji Milanovac, Jun 2010, EL3.5

Abstract – In this paper, the brief analysis of the nonlinear load influence on the power system is given. The hardware circuit for identification of nonlinear loads is described. The circuit is embedded into Integrated Power-Meter and implemented in CMOS 0.35 μ m technology, using Cadence design tools.

Keywords - distorsion power; nonlinear load

The identification of harmonic pollution sources by measuring the distortion factor