

NASTAVNO-NAUČNOM VEĆU ELEKTRONSKOG FAKULTETA U NIŠU

Predmet: Izveštaj Komisije za ocenu i odbranu doktorske disertacije dipl. Inž Dejana Stevanovića

Odlukom 07/03-028/15-003 donetoj na VII sednici Nastavno-naučnog i Izbornog veća Elektronskog fakulteta u Nišu, održanoj 18.06.2015. godine, imenovani smo u Komisiju za ocenu i odbranu doktorske disertacije dipl. inž Dejana Stevanovića pod naslovom

METOD ZA EFIKASNU IDENTIFIKACIJU HARMONIJSKIH IZOBLIČENJA U ELEKTROENERGETSKOJ MREŽI PRIMENOM MODIFIKOVANIH ELEKTRONSKIH BROJILA

Komisija u sastavu:

1. dr Predrag Petković, redovni profesor, Univerzitet u Nišu, Elektronski fakultet
2. dr Milun Jevtić, redovni profesor, Univerzitet u Nišu, Elektronski fakultet
3. dr Dragan Mančić, redovni profesor, Univerzitet u Nišu, Elektronski fakultet
4. dr Milutin Petronijević, docent, Univerzitet u Nišu, Elektronski fakultet
5. dr Miroslav Lazić, naučni saradnik, IRITEL AD, Beograd

pregledala je navedenu doktorsku disertaciju i Nastavno-naučnom veću podnosi sledeći

IZVEŠTAJ

Doktorska disertacija dipl. inž Dejana Stevanovića pod naslovom „Metod za efikasnu identifikaciju harmonijskih izobličenja u elektroenergetskoj mreži primenom modifikovanih elektronskih brojila“ napisana je na 95 strana teksta, sadrži 42 slike i 20 tabela. Disertacija se sastoji iz osam celina: 1. Uvod, 2. Izvori harmonijskih izobličenja, 3. Problemi izazvani postojanjem harmonika u elektroenergetskoj mreži, 4. Računanje snage potrošača električne energije, 5. Standardi kojima se definiše kvalitet električne energije, 6. Pregled metoda za identifikaciju izvora harmonijskih izobličenja, 7. Novi metod za identifikaciju izvora harmonijskih izobličenja u elektroenergetskoj mreži, 8. Hardverska realizacija sistema 9. Zaključak, 10. Literatura. Spisak literature sadrži 64 referenci.

U uvodu je dat osvrt na promenu karaktera potrošača priključenih na elektroenergetski (EE) sistem. Primena savremenih energetski efikasnih elektronskih uređaja doprinosi uštedi u potrošnji električne energije a samim tim i u smanjenju emisije CO₂. Iako se može zaključiti da proizvodnja energetski efikasnih uređaja nema negativne posledice po elektroenergetski sistem, u ovoj disertaciji je pokazano da to nije sasvim tačno. Tajna efikasnosti „štedljivih“

uređaja leži u prekidačkom režimu rada tranzistora. Struja se ne crpi konstantno iz EE mreže već je impulsno opterećuje. To znači da se savremeni elektronski uređaji ponašaju kao izuzetno nelinearni potrošači. Talasni oblik struje ne prati, u osnovi, prostoperiodični oblik napona mreže što znači da je izobličen. Usled konačne otpornosti vodova i priljučaka, ova izobličenja preslikavaju se u napon čime se remeti osnovna pretpostavka o parametrima EE mreže. U uvodu se ukazuje na negativne posledice ove pojave i sugeriše se metod za detekciju izvora harmonijskih izobličenja na nivou elektronskog brojila. Predloženi metod može biti implementiran na softverskom ili hardverskom nivou. U uvodu je u kratkim crtama i dat pregled sadržaja teze.

U drugoj glavi dat je pregled izvora harmonijskih izobličenja. Analizirani su uređaji/oprema koja se koristi u industriji ili u domaćinstvu i u sistemu prenosa i proizvodnje električne energije. Kandidat je ovim poglavljem na sistematičan način pokrio najznačajnije uzročnike harmonijskog izobličenja u EE sistemu.

Sistematizacija problema izazvanih postojanjem harmonika u EE mreži data je u trećoj glavi. Naime, po definiciji, elektroenergetsku mrežu karakteriše prostoperiodični napon frekvencije 50Hz (60Hz). Tome su prilagođene sve komponente sistema počev od generatora i transformatora do kablova, osigurača i merne opreme. Pomenuta oprema nije projektovana da ispravno funkcionišu sa asimetričnim talasnim oblicima napona i struje. Zbog toga su komponente sistema osetljive na postojanje harmonika u EE mreži do mere koja smanjuje njihov životni vek, a u ekstremnim slučajevima i ugrožava pouzdanost sistema. U ovoj glavi analizirani su problemi koji se javljaju usled postojanja harmonika kod generatora, transformatora, indukcionog motora, motora promenljive brzine, osvetljenja, izvora neprekidnog napajanja, računarskih mreža, provodnika, merne opreme, osigurača, relea i kondenzatorske baterije.

U četvrtoj glavi predstavljena je matematička podrška izračunavanju snaga potrošača električne energije. U prvom delu su analizirani linearni i nelinearni monofazni potrošači dok su kasnije analizirani trofazni potrošači. Predstavljene su dobro poznate formule za računanje trenutne, aktivne i prividne snage kod linearni i nelinearnih potrošača. Računanje reaktivne snage je kompleksniji zadatak, usled nepostojanja jedinstveno priznate definicije. Usled postojanja više različitih definicija za računanje reaktivne snage, analizirane su samo najčešće spominjane u literaturi, kao što su *Budeanu-ova*, *Sharon-ova*, *Fryze-ova* i definicija reaktivne snage predložena od strane IEEE. Autor je učinio dodatni napor da, simulacijom, na primerima više *realnih nelinearnih potrošača* uporedi rezultate koje daju različite definicije. Dobijeni rezultati sugerišu korišćenje *Budeanu-ove* definicije za računanje reaktivne snage što je konzistentno sa sugestijama koje daju proizvođači merne opreme.

Za slučaj trofaznih potrošača, osim definicija za računanje aktivne, reaktivne snage predstavljene su i tri različite definicije za računanje prividne snage (*vektorska prividna snaga*, *aritmetička prividna snaga* i *efektivna prividna snaga*).

Sve veće prisustvo harmonika u EE mreži nametnulo je potrebu da se ograniče njihove maksimalne vrednosti posebnim standardima. Mnogobrojne institucije bave se razvojem standarda koji će se primenjivati kao referentni pri oceni kvaliteta električne energije. Pregled

ograničenja koje definišu IEEE, IEC i EN standardi za svaki harmonik ponaosob dat je u petoj glavi.

U šestoj glavi prikazani su postojeći metodi za detekciju izvora harmonijskih izobličenja u EE mreži. Analizirani su metodi zasnovani na

- a) *praćenju znaka harmonijske aktivne snage,*
- b) *praćenju znaka harmonijske reaktivne snage,*
- c) *CI metod, metod zasnovan na merenju neaktivne snage i*
- d) *rangiranje na osnovu harmonijskih izobličenja.*

Kandidat je na primerima potvrdio da metod zasnovan na praćenju znaka samo harmonijske aktivne snage nije potpuno precizan i da ga je nophodno dopuniti praćenjem znaka harmonijske reaktivne snage. U arbitraži koji od ova dva metoda treba primeniti ključnu ulogu igra odnos otpornosti i reaktanse na strani potrošača i EE mreže. CI metod predstavlja dopunu metoda zasnovanog na praćenju znaka harmonijske reaktivne snage. Potpuno drugačiji pristup određivanju izvora harmonijskog izobličenja predstavljen je pomoću metoda zasnovanog na merenju neaktivne snage. Ovaj metod zasnovan je na poređenju vrednosti reaktivne snage računatim prema različitim definicijama. Metod zasnovan na rangiranju harmonijskih izobličenja koristi dva parametra LCR (*Load Composition Rate*) i THDI (*Total Harmonic Distortion* ekstaktovan iz talasnog oblika struje) i RMP (*Reduced Multivariate Polynomial*) polinom. Sve navedeno ukazuje da je primena svih do sada dostupnih metoda zametna jer zahteva merenje/izračunavanje više parametara.

U sedmom poglavlju predstavljen je novi metod za identifikaciju izvora harmonijskih izobličenja u elektroenergetskoj mreži. Predloženi metod verifikovan je na funkcionalnom nivou uz pomoć Matlab koda. Kao ugledni primeri (*benchmark*) poslužili su podaci o amplitudi i fazi svakog harmonika struje kod potrošača koji su dobro poznati u naučnim krugovima. Rezultati simulacija pokazali su da se snaga izobličenja uspešno može koristiti za detekciju izvora harmonijskih izobličenja na mestu priključenja potrošača (*PCC- Point of Common Coupling*). Rezultati poređenja predloženog metoda sa postojećim metodima (opisanim u prethodnoj glavi) potvrđuju da metod predložen u ovoj disertaciji uspešno detektuje izvor harmonijskog izobličenja. Štaviše predloženi metod uspešno detektuje izvor harmonijskog izobličenja i u slučajevima kad metodi zasnovani na praćenju znaka harmonijske aktivne i reaktivne snage to nisu u mogućnosti. Metod predložen u ovoj disertaciji implementiran je na brojilu koje proizvodi EWG kompanija iz Niša. Verifikacija je urađena na setu potrošača koji se najčeće mogu naći u domaćinstvima i industriji. Mereni rezultati potvrđuju činjenicu da distributeri električne energije trpe značajne finansijske gubitke prenebregavanjem činjenice da se značajna količina isporučene energije ne registruje. Zbog toga se u poslednjom delu ovog poglavlja sugerise nova politika naplate električne energije koja uzima u ozir i registrovanje snage izobličenja.

Imajući u vidu da svest o značaju i vrednosti snage izobličenja još uvek nije razvijena u nova brojila nije ugrađena opcija registrovanja ove snage, odnosno energije izobličenja. Zbog toga je u osmoj glavi ove disertacije predstavljen jedinstven sistem koji može da se koristi kao hardverska nadogradnja postojećim brojilima. Prototip sistema realizovan je na

razvojnoj ploči Altera DE2 a implementiran na FPGA. Na taj način kandidat je dokazao da se primenom rešenja koje predlaže, postojeća brojila mogu lako modifikovati sa ciljem da se obogate funkcijom merenja energije izobličenja. Time se otvara mogućnost da se na mestu priključenja potrošača nedvosmisleno utvrđuje stepen izobličenja koji svaki potrošač unosi u EE mrežu. Istovremeno pruža omogućava se očuvanje EE mreže od harmonijskih izobličenja uvođenjem odgovarajuće tarifne politike.

U zaključku su sumirani rezultati predstavljeni u disertaciji.

U literaturi je navedeno ukupno 64 referenci. Od toga, kandidat je autor ili koautor na sedam radova od kojih su četiri publikovana u časopisima sa SCI liste (M23), dva u kategoriji M24 i jedan u kategoriji M33:

- [1] **D. Stevanović**, P. Petković, "The Efficient Technique for Harmonic Sources Detection at Power Grid," *Przegład Elektrotechniczny*, vol. 2012., no.11a, pp. 196-199, Nov. 2012., – **časopis sa SCI liste (M23)**
- [2] **D. Stevanović**, P. Petković, "A single-point method based on distortion power for the detection of harmonic sources in power system," *Metrology and Measurement Systems*, vol. XXI(2014), no.1, pp. 3-14, Mart 2014., – **časopis sa SCI liste (M23)**
- [3] P. Petković, **D. Stevanović**, "Detection of power grid harmonic pollution sources based on upgraded power meters," *Journal of Electrical Engineering*, vol. 65, no. 3, pp. 163-168, Maj/Jun 2014., – **časopis sa SCI liste (M23)**
- [4] **D. Stevanović**, P. Petković, "A Single-Point Method for Identification Sources of Harmonic Pollution Applicable to Standard Power Meters," *Electrical Engineering*, vol. 97, no. 2, pp. 165-174, Jun 2015. , – **časopis sa SCI liste (M23)**
- [5] **D. Stevanović**, P. Petković, "The Losses at Power Grid Caused by Small Nonlinear Loads", *Serbian Journal of Electrical Engineering*, vol. 10, no. 1, pp. 209-217, Feb. 2013. (**M24**)
- [6] **D. Stevanović**, P. Petković, " Utility needs smarter power meters in order to reduce economic losses," *FACTA UNIVERSITATIS Series:Electronics and Energetics*, vol. 28, no. 3, pp. 407-421, Sept. 2015. (**M24**)
- [7] B. Jovanović, M. Damnjanović, **D. Stevanović**, "The Decomposition of DSP Control Logic Block," *Proceedings of Small System Simulation Symposium 2012*, 2012, pp. 119-124. (**M33**)

ZAKLJUČAK

Na osnovu uvida u doktorsku disertaciju Komisija zaključuje da doktorska disertacija kandidata dipl. inž. Dejana Stevanovića sadrži više originalnih doprinosa i rešenja u identifikaciji izvora harmonijskih izobličenja u EE mreži. U disertaciji je teorijski izložen problem postojanja i detekcije izvora harmonijskih izobličenja. Sastavni deo disertacije čini i konkretno rešenje problema koje je originalno, široko primenljivo i sa prednostima u odnosu na postojeća rešenja. Deo rezultata u okviru urađene disertacije kandidat je publikovao na međunarodnim i domaćim konferencijama i u časopisima sa SCI liste (M23).

Komisija predlaže Nastavno-naučnom veću Elektronskog fakulteta u Nišu da se doktorska disertacija kandidata Dejana Stevanovića pod naslovom „Metod za efikasnu identifikaciju harmonijskih izobličenja u elektroenergetskoj mreži primenom modifikovanih elektronskih brojila“ prihvati i da se kandidatu odobri usmena odbrana doktorske disertacije.

Niš, 03.07.2015.

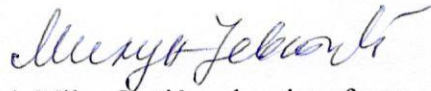
Komisija:

1. Predsednik



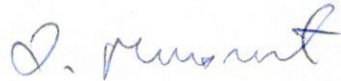
dr Predrag Petković, redovni profesor,
Univerzitet u Nišu, Elektronski fakultet u Nišu

2. Član



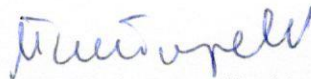
dr Milun Jevtić, redovni profesor,
Univerzitet u Nišu, Elektronski fakultet u Nišu

3. Član



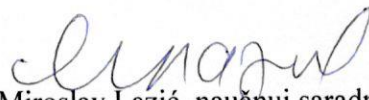
dr Dragan Mančić, redovni profesor,
Univerzitet u Nišu, Elektronski fakultet u Nišu

4. Član



dr Milutin Petronijević, docent,
Univerzitet u Nišu, Elektronski fakultet u Nišu

5. Član



dr Miroslav Lazić, naučni saradnik,
IRITEL AD, Beograd