Broj rada: R2-04
DOI:10.46793/CIRED2026.R2-04_264

ZAVISNOSTI HARMONIKA STRUJE NEKIH SVETILJKI ZA UNUTRAŠNJU RASVETU OD EFEKTIVNE VREDNOSTI NAPOJNOG NAPONA

DEPENDENCIES OF CURRENT HARMONICS OF SOME LAMPS FOR INDOOR LIGHTING ON RMS VALUE OF SUPPLY VOLTAGE

Lidija KORUNOVIĆ* , Elektronski fakultet u Nišu, Univerzitet u Nišu, Srbija

KRATAK SADRŽAJ

Harmonijski modeli pojedinih nelinearnih niskonaponskih uređaja i/ili zbirne potrošnje u čvorovima mreže polazna su osnova za harmonijske analize distributivnih mreža. Za ove analize mogu se koristiti tri vrste harmonijskih modela: analitički, admitantni modeli i modeli sa konstantnim strujnim izvorima, koji su ukratko opisani u radu zajedno sa mogućnostima njihove primene. Istaknuto je da se u literaturi koja je do sada objavljena ukazuje na postojanje uticaja izobličenja napojnog napona na pojavu pojedinih harmonika struje niskonaponskih potrošača, dok mali broj radova analizira vrednosti harmonika struje tipičnih niskonaponskih uređaja u zavisnosti od promene efektivne vrednosti napojnog napona. U ovom radu se pored zavisnosti efektivnih vrednosti harmonika struje nekih svetiljki za unutrašnje osvetljenje, analiziraju i zavisnosti uglova harmonika struje od vrednosti napojnog napona. Navedene zavisnosti su dobijene analiziranjem rezultata laboratorijskih eksperimenata pri kojima je menjan napojni napon svetiljki u opsegu ±10 % od nazivnog napona. Dobijene zavisnosti za tipične predstavnike fluorescentnih svetiljki i LED svetiljki koje se koriste za unutrašnju rasvetu, međusobno su upoređene. Zaključeno je da promene efektivne vrednosti napojnog napona utiču na harmonike struje koje ispitivane svetiljke injektiraju u mrežu, i da u modelima ovih svetiljki treba uzeti u obzir zavisnosti harmonika struja od napona.

Ključne reči: harmonici struje, harmonijski modeli, napojni napon, unutrašnja rasveta

ABSTRACT

Harmonic models of individual low-voltage devices and/or aggregate load of network buses are the basis for harmonic analyses of the distribution networks. Three types of harmonic models can be used for these analyses: analytical, admittance matrix models and harmonic current-source models, which are briefly described in the paper along with their application possibilities. It is emphasized that the literature published so far indicates the influence of supply voltage distortion on the occurrence of individual current harmonics in the consumption of low-voltage consumers, while few papers analyse the values of current harmonics of typical low-voltage devices depending on the change in rms supply voltage values. In this paper, in addition to the dependences of the rms values of the current harmonics of some lamps for indoor lighting, the dependences of the angles of the current harmonics on the value of the supply voltage are analysed. The mentioned dependencies were obtained by analysing the results of laboratory experiments in which the supply voltage of the lamps was changed in the range of

* Lidija Korunović, lidija.korunovic@elfak.ni.ac.rs.

±10% of the rated voltage. The dependencies obtained for typical representatives of fluorescent lamps and LED lamps used for indoor lighting were compared with each other. It was concluded that changes in the rms value of the supply voltage affect the current harmonics that the examined lamps inject into the network, and that the dependence of current harmonics on the voltage should be taken into account in the models of these lamps.

Keywords: harmonic currents, harmonic models, indoor lighting, supply voltage

UVOD

Kvalitet električne energije distributivne elektroenergetske mreže definisan je većim brojem činilaca kvaliteta. Jedan od činilaca koji je u današnje vreme veoma aktuelan zbog sve veće upotrebe nelinearanih prijemnika u svim kategorijama potrošnje su harmonici [1]. U nelinerane prijemnike električne energije spadaju razne vrste svetiljki kako za unutrašnje, tako i za spoljašnje osvetljenje, televizori, frižideri, zamrzivači, veš mašine, mašine za pranje sudova, laptop i desktop računari, klima uređaji, toplotne pumpe, različiti pogoni upravljani frekvencijskim pretvaračima, punjači za električna vozila, itd. Navedeni uređaji injektiraju harmonijske komponente struje u mrežu, i u većoj ili manjoj meri utiču na izobličenje talasnih oblika zbirne struje i napona u čvorovima distributivne mreže. Njihov uticaj postaje sve značajniji kako prisustvo nelinearnih prijemnika u mreži raste i kako oni postaju dominantni potrošači u niskonaponskoj distributivnoj mreži. Osim toga, u današnje vreme se grade novi data centri i stanice za punjenje električnih vozila [2]-[3], koji imaju velike instalisane snage i predstavljaju značajne izvore harmonika koji mogu degradirati kvalitet napona u mreži.

Prisustvo harmonika doprinosi povećanju gubitaka u mreži, kako u vodovima – u faznim i neutralnom provodniku distributivne mreže, tako i u transformatorima, pa stoga utiču na dodatno zagrevanje elemenata mreže i smanjenje propusne moći za osnovni harmonik struje. Harmonici mogu uzrokovati: pojavu napona u zvezdištu transformatora čak i kada su fazni provodnici simetrično opterećeni, pojavu rezonancije, interferenciju sa uređajima za telekomunikacije, greške mernih instrumenata, vibracije kod obrtnih mašina, neadekvatno reagovanje zaštitnih uređaja, itd. [1]. Zato je ograničenje nivoa harmonika neophodno, a njihovi limiti se propisuju odgovarajućim standardima [4]-[5].

Harmonici struje i napona tokom eksploatacije elektroenergetske mreže, prvenstveno se određuju terenskim merenjima, ali se mogu odrediti i simulacijama [6]. Simulacije su od posebnog značaja kod planiranja budućih pogona mreže u kojima se očekuje priključenje novih (nelinearnih) potrošača i/ili promena strukture postojeće potrošnje. U simulacijama se koriste harmonijski modeli zbirnog opterećenja i/ili pojedinačnih prijemnika koji ulaze u njen sastav, pri čemu preciznost rezultata u najvećoj meri zavisi od tačnosti upotrebljenih modela. Harmonijski modeli opterećenja su opisani u brojnim referencama, kao što su [7]-[12]. U ovom radu su navedene glavne karakteristike ovih modela i predstavljene su mogućnosti njihove primene.

Istaknuto je da je nedostatak modela sa konstantim strujnim izvorima to što ne uzima u obzir uticaj napojnog napona na harmonijski spektar struje nelinearnih prijemnika električne energije. Zato se rad bavi ispitivanjem efekta promene efektivne vrednosti napona na harmonike struje nekih karakterističnih nelinearnih prijemnika, koje služe za unutrašnju rasvetu. Analizirani su rezultati merenja harmonijskih spektara struja tipičnih predstavnika fluorescentnih i LED svetiljki, dobijeni za različite efektivne vrednosti napojnog napona iz opsega vrednosti koje su

dozvoljene u normalnim režimima rada mreže [13]. Rezultati su upoređeni sa rezultatima sličnog istraživanja koje se odnosilo na svetiljke za javnu rasvetu [14].

1 HARMONIJSKI MODELI OPTEREĆENJA

1.1 Klasifikacija modela

Harmonijski modeli nelinearnih uređaja mogu biti modeli u vremenskom domenu i modeli u frekvencijskom domenu. U prvu grupu spadaju modeli sa konstantnim strujnim izvorima i analitički modeli, a modele u frekvencijskom domenu čine tzv. admitantni modeli.

Modeli sa konstantnim strujnim izvorima koriste rezultate merenja amplituda i uglova harmonika struja uređaja [7]-[8]. Opšti oblik modela sa konstantnim strujnim izvorima je:

$$i(t) = I_1 \cdot \sin\left(\omega_1 t + \varphi_1\right) + \sum_{h=2,3,4,5\ldots}^{H} I_h \sin\left(\omega_h t + \varphi_h\right), \quad (1)$$

gde je: I_1, ω_1 i φ_1 – amplituda, kružna frekvencija i fazni ugao osnovnog harmonika struje, I_h, ω_h i φ_h – amplituda, kružna frekvencija i fazni ugao harmonijskih komponenata struje h-tog reda, dok je H – najviši red harmonika koji se uzima u obzir.

Ovi modeli su najjednostavniji harmonijski modeli, koji se ujedno najlakše primenjuju u simulacijama. Međutim, kao što je rečeno, nedostatak im je to što ne uzimaju u obzir uticaj promene napojnog napona (odnosno radne tačke potrošača) na harmonijski spektar, usled čega tačnost modela postaje upitna ako se radni uslovi modelovanog uređaja promene u odnosu na uslove inicijalnog merenja.

Analitički modeli se baziraju na jednačinama koje opisuju električna kola uređaja i zovu se još i modeli sa ekvivalentnim električnim kolima [9]-[11]. Naime, pošto su ova električna kola često veoma složena, to se mogu koristiti ekvivalentna (uprošćena) električna kola, a sami modeli se tada zovu modeli sa ekvivalentnim električnim kolima koji se relativno lako mogu koristiti u komercijalnim softverima za simulaciju mreža.

Prednost analitičkih modela je njihova tačnost prilikom modelovanja pojedinačnih nelinearnih uređaja. Nedostatak im je nemogućnost modelovanja više prijemnika električne energije u istom električnom kolu – analitički modeli ne uvažavaju efekat slabljenja i međusobnog poništavanja harmonika istog reda usled njihovih suprotnih uglova, pa se u simulacijama dobijaju nivoi harmonijskih izoblličenja veći od onih u realnoj mreži.

Admitantni modeli spadaju u modele u frekvencijskom domenu, a naziv im potiče od matrice admitansi koja se u njima koristi [7], [9], [12]. Admitantnim modelom koji se zove Nortonov ekvivalentni model [7], [12], mogu se modelovati pojedinačni nelinearni uređaji. Model se sastoji od vektora struja različitih frekvencija koje potrošač injektira u mrežu, ekvivalentnih admitansi potrošača za ove frekvencije, i vektora napojnog napona uređaja koji ima komponente različitih frekvencija. Prednost ovog modela je što struja injektirana u mrežu zavisi od napojnog napona uređaja, što se može koristiti za modelovanje zbirne potrošnje grupe uređaja, ali se inicijalna merenja za dobijanje parametara modela prijemnika moraju uraditi za svaki uređaj posebno.

Generalno, glavna prednost admitantnih modela je to što se mogu koristiti u komercijalnim softverima za proračun harmonijskih tokova snaga. Međutim, admitantni modeli su složeni, potrebna su brojna merenja za dobijanje parametara modela i zahtevaju značajne kompjuterske resurse za proračune.

1.2 Primena harmonijskih modela

Izbor harmonijskog modela koji je pogodan za željenu primenu prvenstveno se vrši kroz razmatranje sledećih glavnih osobina modela: forme u kojoj model daje rezultat, tačnosti i složenosti. Ako više modela daje rezultat u istoj ili sličnoj formi, razmatra se tačnost i složenost modela, pri čemu treba imati u vidu da su najtačniji modeli istovremeno i najsloženiji, i da im je najteže odrediti parametre.

Kada je u pitanju forma rezultata, modeli sa konstantnim strujnim izvorima i analitički modeli daju kao rezultat amplitude i fazne uglove harmonika struje, ali forma rezultata nije pogodna za korišćenje u harmonijskim analizama elektroenergetskih mreža. Admitantni modeli kao rezultat takođe daju ulaznu struju potrošača, ali u odgovarajućem obliku za dalje korišćenje u programima za proračun harmonijskih tokova snaga.

Tačnost modela sa konstantnim strujnim izvorima je zadovoljavajuća ako su radni uslovi mreže slični uslovima prilikom merenja kojima se određuju parametri modela. Sa druge stane, analitički modeli i admitantni modeli imaju veliku tačnost, nezavisno od radnih uslova mreže.

Složenost modela razmatra koliko je teško dobiti parametre modela i koliko je složeno primeniti model. Parametri modela sa konstantnim strujnim izvorima se relativno lako određuju inicijalnim merenjem harmonijskog spektra nekog uređaja i potom se mogu koristiti, pa se modeli sa konstantnim strujnim izvorima smatraju najjednostavnijim. Nešto složeniji su analitički modeli, jer im se teže određuju parametri [9], pri čemu je složenost primene slična kao kod prethodne grupe modela. Najsloženiji su admitantni modeli, jer, kao što je rečeno, zahtevaju mnoga merenja, a proračuni u koje su uključeni su zahtevni.

Na osnovu prethodno navedenih glavnih osobina modela, i njihovih prednosti i nedostataka, donosi se zaključak o tome koji je harmonijski model adekvatan za određene primene. Modeli sa konstantnim strujnim izvorima su pogodni za grube procene injektiranja viših harmonika struje koje vrše pojedinačni ili manje grupe uređaja. Analitički modeli su dobri kada su potrebne tačnije analize harmonijskog spektra struje pojedinačnih uređaja u vremenskom domenu. Prelaskom modela u frekvencijski domen [15], oni se mogu koristiti u komercijalnim softverima za analizu mreža. Admitantni modeli su adekvatni za primenu u odgovarajućim programima za proračun harmonijskih tokova snaga i kvaliteta električne energije.

2 LABORATORIJSKI EKSPERIMENTI

Kao što je rečeno, harmonijski modeli sa konstantnim strujnim izvorima zanemaruju uticaj promene napojnog napona na harmonijski spektar, usled čega tačnost modela postaje upitna ako se radni uslovi modelovanog uređaja promene u odnosu na uslove inicijalnog merenja. Međutim, mnogi radovi ne razmatraju uticaj radnih uslova u mreži na dobijene rezultate, dok samo mali broj ističe uticaj izobličenja napona na harmonike struje koje injektiraju nelinearni potrošači, npr. [9], [16]-[17]. Kako je efekat promene efektivne vrednosti napojnog napona na harmonike struje nelinearnih prijemnika skoro uvek zanemarivan u istraživanjima, u ovom radu su prikazani rezultati adekvatnih laboratorijskih eksperimenata na tipičnim predstavnicima svetiljki za unutrašnju rasvetu:

fluorescentne svetiljke sa elektronskim balastom (PL-C 18 W/830 4p), i
LED svetiljke nazivne snage 11 W (A60, 810 lm, 2700 K).

Cilj eksperimenata je deo šireg istraživanja koje se bavi ispitivanjem da li kod različitih nelinearnih prijemnika električne energije postoje zavisnosti efektivnih vrednosti harmonika struje i njihovih faznih uglova od efektivne vrednosti napojnog napona.

Tokom eksperimenata čiji su rezultati predstavljeni u radu, napojni napon ispitivanih svetiljki je menjan laboratorijskim autotransformatorom u granicama koje odgovaraju normalnim režimima rada niskonaponske mreže u skladu sa [13], $U_n \pm 10\%\ U_n$, sa korakom od 2% U_n. Merenja napona i struja svetiljki izvršena su analizatorom snage klase A [18]. Analizator ima ugrađenu Diskretnu Furijeovu Transformaciju (DFT) kojom se dobijaju potrebne efektivne vrednosti i fazni uglovi harmonika napona i struje do devedeset i devetog reda, što daje osnovu za dalje veoma precizne analize.

U radu su detaljno analizirani i međusobno upoređeni samo neparni harmonici struje do devetog reda (h=1, 3, 5, 7, 9), jer je pokazano da su parni harmonici struje, kao i neparni harmonici većeg reda značajno manji. Jedna od veličina koju je analizator takođe snimao je i ukupna harmonijska distorzija napona [1], koja je bila relativno mala tokom merenja i približno konstantna: $THDU \in [2{,}71;\ 2{,}85]\%$ i $THDU \in [2{,}90;\ 3{,}15]\%$ za vreme eksperimenata na fluorescentnoj i LED svetiljci, respektivno. Zato je uticaj izobličenja napona na prisustvo pojedinih harmonika struje ispitivanih svetiljki zanemaren.

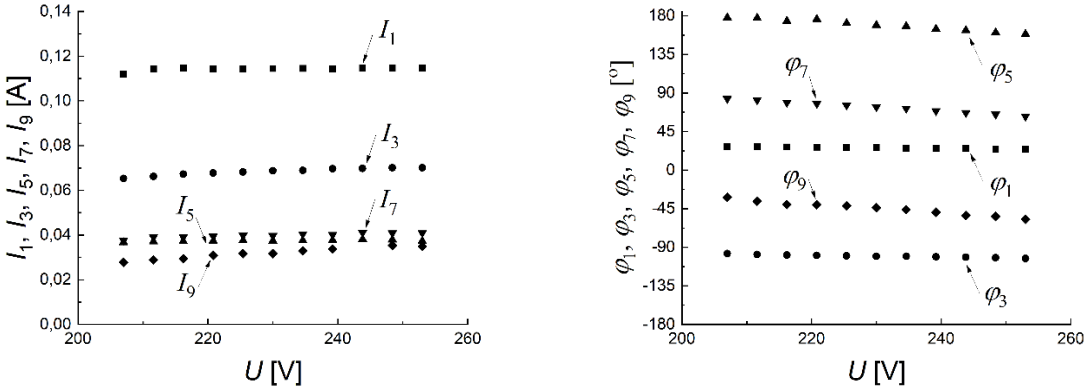
3 ANALIZA REZULTATA

Tokom eksperimenata promene napojnog napona ispitivane fluorescentne svetiljke sa elektronskim balastom, od $U_n - 10\%\ U_n$ do $U_n + 10\%\ U_n$ (207 V – 253 V), sa korakom od 4,6 V (2% U_n), snimljene su efektive vrednosti pojedinih harmonika struje i odgovarajući fazni uglovi (Slika 1). Generalno, harmonijske komponente struje imaju trend blagog porasta sa porastom napona (Slika 1a), pri čemu je uočljivije povećenje komponenata koje imaju najveće vrednosti – prvog harmonika od 0,112 A do 0,115 A i trećeg od 0,065 A do 0,070 A, kao i devetog harmonika koji se menjao od 0,028 A do 0,035 A, dok su peti i sedmi harmonik struje bliski jedan drugom, pa je njihova varijacija sa promenom napona teško primetna. U ispitivanom opsegu napona, ukupna harmonijska distorzija struje, *THDI*, fluorescentne svetiljke menjala se od 81,49% do 88,16%. Ove vrednosti pokazuju da je fluorescentna svetiljka značajan izvor harmonika.

Slika 1b) prikazuje promene faznih uglova analiziranih harmonika struje fluorescentne svetiljke, sa promenom napona. Fazni uglovi se smanjuju sa porastom napojnog napona: ugao prvog harmonika od 27,60° do 24,22°, trećeg od –97,39° do –102,95°, petog od 177,96° do 158,61°, sedmog od 83,39° i 62,56° i devetog od –31,75° do –57,40°. To znači da se fazni uglovi menjaju za različite iznose pri istoj promeni napona. Uopšteno govoreći, na osnovu iznosa promene jednog harmonika struje fluorescentne svetiljke (ili njenog faznog ugla) ne mogu se predvideti promene efektivnih vrednosti (ili uglova) ostalih harmonijskih komponentata.

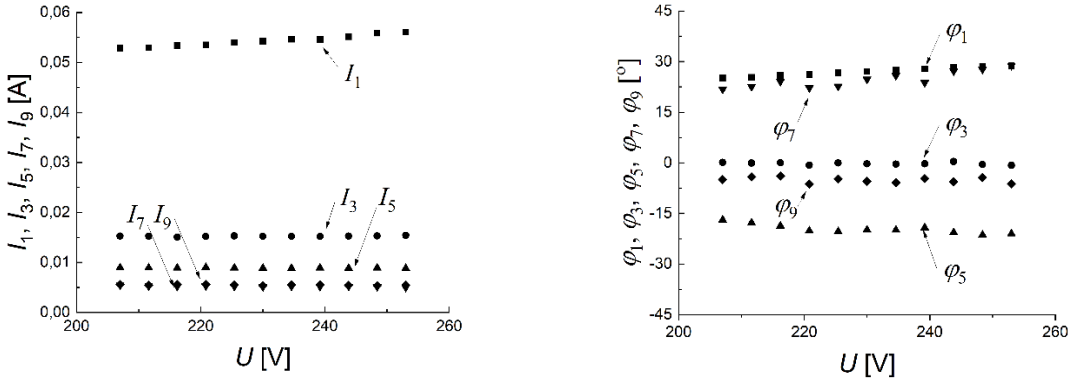
Slika 2 prikazuje pojedine efektivne vrednosti harmonika struja i njihove fazne uglove, za ispitivanu LED svetiljku za unutrašnju rasvetu, kod koje je *THDI* tokom promene napona bila relativno velika i menjala se od 43,45% do 39,86%. Osim malog porasta struje prvog harmonika od 0,053 A do 0,056 A, i blagog pada inače vrlo male struje sedmog harmonika, od 0,0054 A

do 0,0050 A, ostale harmonijske komponente se mogu smatrati konstantnim pri promeni napona od 207 V do 253 V. Fazni uglovi prvog i sedmog harmonika struje blago rastu sa naponom, od 25,11° do 28,74° i od 21,83° do 28,81°, respektivno, ugao petog opada od –16,93° do –20,97°, dok se uglovi trećeg i devetog harmonika mogu smatrati nepromenljivim. Na osnovu ovoga, može se izvesti zaključak da se i efektivne vrednosti pojedinih harmonika struja, i njihovi fazni uglovi, različito ponašaju pri promeni napona od U_n –10% U_n do U_n +10% U_n.



(a) (b)

Slika 1 – Harmonici struje fluorecsentne svetiljke
(a) efektivne vrednosti: I_1, I_3, I_5, I_7 i I_9; (b) fazni uglovi: φ_1, φ_3, φ_5, φ_7 i φ_9



(a) (b)

Slika 2 – Harmonici struje LED svetiljke
(a) efektivne vrednosti: I_1, I_3, I_5, I_7 i I_9; (b) fazni uglovi: φ_1, φ_3, φ_5, φ_7 i φ_9

Pored prethodne analize, Tabela I daje pregled procentualnih promena efektivnih vrednosti harmonika struje analiziranih svetiljki za unutrašnju rasvetu, i natrijumove i LED svetiljke za javnu rasvetu koje su takođe bile podvrgnute eksperimentima promene napona od 207 V do 253 V [14]. Procentualne promene su date u odnosu na vrednosti odgovarajućih harmonika struje pri nazivnom naponu, 230 V, tj. pri 100% U_n.

Najveće apsolutne promene harmonika struje od 31,67% zabeležene su kod trećeg harmonika natrijumove svetiljke, a najmanje (0,11%) kod petog harmonika fluorescentne svetiljke za unutrašnju rasvetu, obe pri povećanju napona od 100% na 110%. Kada se uzmu u obzir svi podaci o procentualnim promenama struje pojedinih svetiljki, harmonici struje LED svetiljke

za unutrašnju rasvetu su najmanje osetljivi na promenu napona, pošto je najveća uočena promena bila 5,95% kod I_7 prilikom smanjenja napona od 100% na 90%. Potom slede LED svetiljka za javnu rasvetu i fluorescentna svetiljka za unutrašnju rasvetu, i na kraju natrijumova svetiljka. Na osnovu podataka iz Tabele I proizilazi da se ne može ustanoviti jedinstvena zakonitost po kojoj se menjaju sve efektivne vrednosti harmonika struje neke od ispitivanih svetiljki za unutrašnju i javnu rasvetu, sa promenom napojnog napona.

Tabela I – Procentualne promene efektivnih vrednosti harmonika struje ispitivanih svetiljki za unutrašnju rasvetu i svetiljki za javnu rasvetu, pri promenama napona za ±10% U_n u odnosu na U_n

Svetiljka	U [%]	I_1 [%]	I_3 [%]	I_5 [%]	I_7 [%]	I_9 [%]
Fluorescentna svetiljka za unutrašnju rasvetu	90	–2,16	–5,00	–1,88	–4,95	–12,64
	110	0,15	2,07	–0,11	3,11	9,74
LED svetiljka za unutrašnju rasvetu	90	–2,59	0,38	0,92	5,95	2,98
	110	3,32	1,16	–0,36	–2,56	1,91
Natrijumova svetiljka za javnu rasvetu	90	–10,93	–20,79	–3,55	–14,93	–5,31
	110	7,67	31,67	2,67	27,19	14,31
LED svetiljka za javnu rasvetu	90	10,87	–2,46	7,22	8,81	–0,66
	110	–8,53	2,85	–1,50	–0,59	–3,97

4 ZAKLJUČAK

U ovom radu je data kritička analiza tri vrste harmonijskih modela opterećenja: modeli sa konstantnim strujnim izvorima, analitički i admitantni modeli. Na osnovu forme u kojoj model daje rezultat, te tačnosti, složenosti, prednosti i nedostataka modela, navedene su primene za koje su pojedini modeli adekvatni, što inženjerima i istraživačima može znatno olakšati rad u domenu harmonijske analize elektroenergetskih mreža. Pored toga, istaknut je bitan nedostatak modela sa konstantnim izvorima struje, da rezultat zavisi od naponskih prilika u mreži. Kako bi se utvrdila zavisnost efektivnih vrednosti i faznih uglova harmonika struje od napona tipičnih nelinearnih svetiljki za unutrašnju rasvetu, izvršeni su laboratorijski eksperimenti promene efektivne vrednosti napona u okviru limita propisanih standardom SRPS EN 50160.

Prisustvo viših harmonika struje ispitivane fluorescentne i LED svetiljke u njihovim ukupnim strujama je značajno i, imajući u vidu masovnu upotrebu ovih i sličnih svetiljki, one mogu biti bitni izvori harmonika struje u mreži. Pokazano je da se efektivne vrednosti i fazni uglovi injektiranih harmonika struje, menjaju sa promenom napojnog napona, i da to treba uzeti u obzir prilikom modelovanja fluorescentnih i LED svetiljki za unutrašnju rasvetu. Osim toga, ponašanje efektivnih vrednosti pojedinih harmonika struje sa promenom napona, kao i faznih uglova ovih struja, za jednu svetiljku, nije jednoobrazno. Rezultati dobijeni za svetiljke za unutrašnju rasvetu upoređeni su sa ranije objavljenim rezultatima za tipične svetiljke za javnu rasvetu. Potvrđeno je da su savremene svetiljke bitni izvori harmonika struje, a da se trendovi promene efektivne vrednosti harmonika struje i faznih uglova međusobno razlikuju za svaku od svetiljki. Zata slična istraživanja treba nastaviti na različitim svetiljkama i drugim nelinearnim prijemnicima električne energije, kako bi se načinila dovoljno velika baza podataka koja se može upotrebiti u harmonijskim analizama distributivnih mreža.

ZAHVALNICA

Ovaj rad je podržan od strane Ministarstva nauke, tehnološkog razvoja i inovacija Republike Srbije [broj ugovora: 451-03-34/2026-03/200102].

LITERATURA

[1] L. Korunović, „Kvalitet električne energije", Elektronski fakultet u Nišu, 2014, str. 227
[2] International Energy Agency (IEA), „Electricity 2024: Analysis and Forecast to 2026", International Energy Agency, 2024, pp. 170
[3] Khaled M. Alawasa, „Measurement-Based Analysis of Power Quality and Harmonic Distortion Characteristics for Electric Vehicle AC", *World Electric Vehicle Journal*, 2/17, 2026, pp. 1-25
[4] International Electrotechnical Commission, „EN IEC 61000-3-2 Electromagnetic Compatibility (EMC) - Part 3-2: Limits - Limits for Harmonic Current Emissions (Equipment Input Current <16 A per Phase)", CENELEC, 2018, pp. 15
[5] IEEE Standard Association, „IEEE Std 519-2022 - IEEE Standard for Harmonic Control in Electric Power Systems", IEEE, 2022, pp. 31
[6] A. Kalair, N. Abas, A. R. Kalair, Z. Saleem, N. Khan, „Review of Harmonic Analysis, Modeling and Mitigation Techniques", *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 1/78, 2017, pp. 1152-1187
[7] C. F. M. Almeida, N. Kagan, „Harmonic Coupled Norton Equivalent Model for Modeling Harmonic-Producing Loads", 14th International Conference on Harmonics and Quality of Power ICHQP 2010, Bergamo, 2010, pp. 1-9 in *Proceedings of the Conference*
[8] A. C. Henao-Muñoz, A. J. Saavedra-Montes, „Comparison of Two Mathematical Models for Nonlinear Residential Loads", 17th International Conference on Harmonics and Quality of Power ICHQP 2016, Belo Horizonte, 2016, pp. 1-6 in *Proceedings of the Conference*
[9] J. Yong, L. Chen, S. Chen, „Modeling of Home Appliances for Power Distribution System Harmonic Analysis", *IEEE Transactions of Power Delivery*, 4/25, 2010, pp. 3147-3155
[10] A. J. Collin, C. E. Cresswell, S. Ž. Djokić, „Harmonic Cancellation of Modern Switch-Mode Power Supply Load", 14th International Conference on Harmonics and Quality of Power ICHQP 2010, Bergamo, 2010, pp.1-9 in *Proceedings of the Conference*
[11] M. J. H. Rawa, D. W. P. Thomas, M. Sumner, „Experimental Measurements and Computer Simulations of Home Appliances Loads for Harmonic Studies", 2014 UKSim-AMSS 16th International Conference on Computer Modelling and Simulation, Cambridge, 2014, pp. 340-344 in *Proceedings of the Conference*
[12] M. J. Ghorbani, M. S. Rad, H. Mokhtari, M. E. Honarmand, M. Youhannaie, „Residential Loads Modeling by Norton Equivalent Model of Household Loads", Asia-Pacific Power and Energy Engineering Conference, Wuhan, 2011, pp. 1-4 in *Proceedings of the Conference*
[13] Institut za standardizaciju Srbije, „SRPS EN 50160:2023 – Karakteristike napona isporučene električne energije iz javnih električnih mreža", ISS, 2023, str. 53
[14] I. Anastasijević, L. Korunović, „Zavisnosti harmonika struje nekih svetiljki za javnu rasvetu od napojnog napona", XIII savetovanje o elektrodistributivnim mrežama Srbije, sa regionalnim učešćem - CIRED, Kopaonik, 2022, R2-08 u *Zborniku radova sa Konferencije*
[15] G. Malagon-Carvajal, J. Bello-Pena, G. Ordonez-Plata, C. Duarte, „Time-to-Frequency Domain SMPS Model for Harmonic Estimation: Methodology", International conference on renewable energies and power quality ICREPQ`17, Malaga, 2017, pp. 825-830 in *Proceedings of the Conference*

[16] S. Bhattacharyya, J. F. G. Cobben, W. L. Kling, „Harmonic Current Pollution in a Low Voltage Network", Power and Energy Society General Meeting, Minneapolis, 2010, pp. 1-9 in *Proceedings of the Conference*

[17] A. M. Blanco, S. Yanchenko, J. Meyer, P. Schegner, „Impact of Supply Voltage Distortion on the Current Harmonic Emission of Non-Linear loads", *DYNA*, 192/82, 2015, pp. 150-159.

[18] Zes Zimmer Electronic Systems, „4 Channel Power Meter LMG450", Zes Zimmer Electronic Systems GmbH, 2006, pp. 8