

Uticaj CFL i LED rasvjetnih tijela na kvalitet električne energije

Sanja Jović¹, Marko Ikić², Mladen Banjanin², Goran Vuković²

¹MH „ERS“- MP a.d. Trebinje- ZEDP „ELEKTRO-BIJELJINA“ a.d. Bijeljina, Bijeljina, Republika Srpska

²Univerzitet u Istočnom Sarajevu, Elektrotehnički fakultet, Istočno Sarajevo, Republika Srpska

sanjajovic994@gmail.com, marko.ikić@etf.ues.rs.ba, mladen.banjanin@etf.ues.rs.ba, goran.vukovic@etf.ues.rs.ba

Sažetak—U radu su analizirane osnovne karakteristike CFL i LED rasvjetnih tijela. Posebna pažnja posvećena je analizi njihovog uticaja na kvalitet električne energije u mreži. Kreiran je simulacioni model opisanih rasvjetnih tijela i izvršena su eksperimentalna mjerena struje ovih potrošača. Uradena je analiza talasnih oblika struje i određen je njen harmonijski spektar. Utvrđena je vrijednost faktora totalne harmonijske distorzije (THD) kojim se kvantifikuje nivo prisustva viših harmonika u talasnom obliku struje. Na kraju rada su prezentovani osnovni zaključci o uticaju pomenutih rasvjetnih tijela na kvalitet električne energije.

Ključne riječi-viši harmonici; THD faktor; kvalitet električne energije;

I. UVOD

Danas, u Evropi, rasvjeta čini oko 14% ukupne potrošnje električne energije, što ukazuje na njen izražen uticaj na okolinu i troškove energije. Smanjenje troškova i ušteda električne energije mogu se postići provođenjem mjera koje se odnose na primjenu energetski efikasnih rasvjetnih tijela. Ulaganjem u sisteme energetski efikasne rasvjete može se uštediti između 30 i 50% električne energije [1].

Prilikom zamjene i ugradnje novih sistema osvjetljenja treba uzeti u obzir energetski efikasne vrste rasvjetnih tijela. Izbor rasvjetnih tijela treba biti zasnovan na postizanju ekološki i ekonomski optimalnih uslova osvjetljenja radnog mjesta. Novo rasvjetno tijelo se može smatrati ekološkim i efikasnim ukoliko posjeduje jednak svjetlosni fluks uz manju potrošnju električne energije.

U poređenju sa klasičnim inkadescentnim sijalicama nove vrste električnih rasvjetnih tijela kao što su CFL (kompaktne fluorescentne svjetiljke) i LED sijalice su energetski efikasnije. Na primjer, CFL sijalice koriste između 65% i 80% manje energije od klasičnih inkadescentnih sijalica [2]. Orijentaciono govoreći, inkadescentna sijalica od 60 W ima isti svjetlosni fluks kao CFL sijalica od 13 W, odnosno LED sijalica od 10 W.

Ipak, CFL i LED rasvjetna tijela predstavljaju nelinearna opterećenja čija struja je veoma izobličena višim harmonicima. Strujni harmonici se prostiru kroz niskonaponsku mrežu i na elementima sistema prave dodatne padove napona tako da se na taj način generišu i viši harmonici u naponu. Interaktivnost između potrošača i mreže

može imati za posljedicu da potrošači u značajnoj mjeri vrše generisanje viših harmonika u mrežu što kasnije može da negativno utiče i na njih same [3], [4].

Zbog male snage potrošnje, pojedinačno, bilo koja od sijalica ne može bitno uticati na kvalitet električne energije. Međutim kada se posmatra na nivou distributivne mreže, uticaj ovakvih potrošača na kvalitet električne energije je znatno veći i u budućnosti može imati izražen uticaj na rad elektrodistributivne mreže.

II. OSNOVNE KARAKTERISTIKE CFL I LED SIJALICA

CFL sijalice su kompaktne fluorescentne cijevi malih dimenzija. U sklopu sijalice nalazi se elektronski pretvarač (elektronski balast) koji vrši paljenje cijevi i ograničenje struje. Svjetlosna iskoristivost ovih sijalica je 70 lm/W, što je znatno bolje u odnosu na inkadescentne sijalice. Životni vijek im je do 10000 h, a indeks reprodukcije boja im je do 75. Njihovi najznačajniji nedostaci su:

- cijena, skuplje su 5 do 20 puta od inkadescentnih sijalica,
- komplikovana i skupa tehnologija izrade,
- moraju se zaštititi od pare, vlage i kapljica,
- korištenje toksičnih materijala kao što je živa, arsen i barijum,
- štedne sijalice imaju složen upravljački sklop koji je sklon kvaru uslijed naponskih oscilacija,
- štedne sijalice generišu više harmonike u distributivnoj mreži.

Danas se rasvjetna tijela sve više baziraju na primjeni LED tehnologije, koja predstavlja revolucionarni korak u oblasti električne rasvjete. LED je svijetleća poluprovodnička dioda koja emituje usmjerenu svjetlost. Više LED dioda u zajedničkom kućištu predstavlja LED sijalicu. Svjetlosna efikasnost LED sijalica prevazilazi efikasnost CFL sijalica. Svjetlosna iskoristivost ovih sijalica je do 130 lm/W. Emišiju svjetlosti bilo koje boje bez upotrebe filtera, a indeks reprodukcije boja im je do 80. Jedna od njihovih najvažnijih karakteristika je dug vijek trajanja koji iznosi 50000 h.

Osnovne prednosti LED sijalica su:

- značajna ušteda energije i manje zagađenje okoline,
- dugotrajnost, životni vijek im je 10 puta duži od CFL i približno 100 puta duži u odnosu na inkadescentne sijalice,
- ne emituju UV i IR zrake kao klasična ili CFL sijalica,
- ekološki su bezbjednije i mogu se reciklirati.

Osnovni nedostaci LED sijalica su:

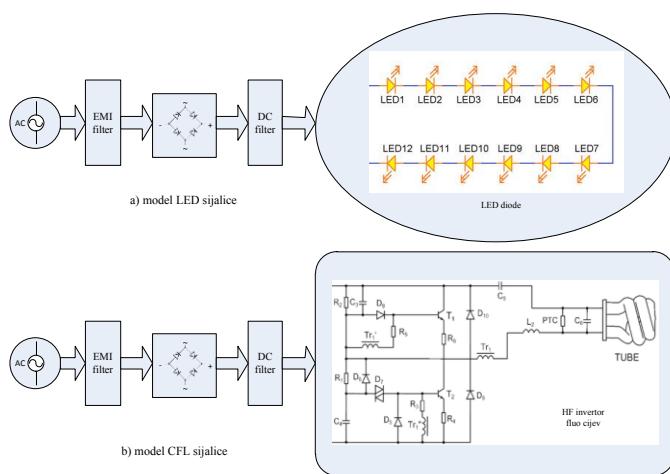
- Karakteristike LED jako zavise od temperature ambijenta. Strujno preopterećenje LED sijalica ili visoka temperatura okoline mogu dovesti do drastičnog smanjenja vijeka trajanja sijalice pa čak i do trajnog oštećenja.
- Niži indeks reprodukcije boja u odnosu na inkadescentne sijalice.

III. SIMULACIONI MODEL RASVJETNIH TIJELA

U nastavku rada, prikazana je fotografija i dat je blok dijagram modela CFL i LED sijalica. Simulacioni model ovih rasvjetnih tijela je urađen u Matlab/Simulink okruženju na bazi predstavljenih modela sa blok dijagrama i konkretnih vrijednosti elemenata sijalica prikazanih na slikama 1 i 2, te dostupne literature [5], [6], [7].



Sl. 1. Izgled LED i CFL sijalice i njihovih sastavnih dijelova

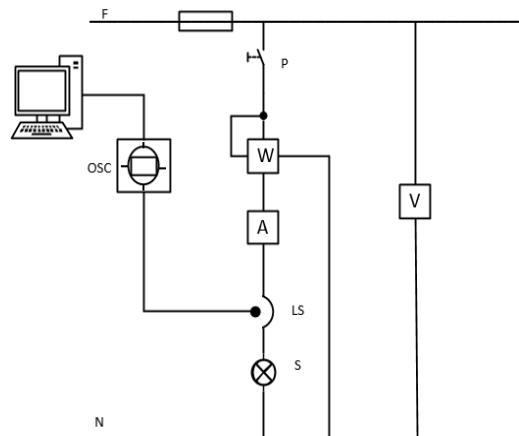


Sl. 2. Blok dijagrami LED i CFL sijalice

LED sijalica je jednostavnije izvedbe u odnosu na CFL sijalicu. Pored rasvjetnog tijela koga čine LED diode, za funkcionsanje sijalice dovoljan je jednostavan elektronski balast za koji pored EMI filtera, diodnog ispravljača i DC filtera nije potreban dodatni element za ispravan rad. Kod CFL sijalica, pored nabrojanih elemenata elektronskog balasta, potrebno je obezbijediti i visokofrekventni rezonanti inverzor (najčeće u polusnosnoj izvedbi) kojim bi se medium u fluo cijevi aktivirao. Zbog toga je pretvarač u CFL sijalici složeniji i sa nižim koeficijentom korisnog dejstva.

IV. EKSPERIMENTALNA MJERENJA

Eksperimentalna mjerena talasnog oblika struje CFL i LED sijalice su urađena prema šemama sa slike 3.



Sl. 3. Šema spajanja eksperimentalne postavke

Uključenje i isključenje sijalice u kolu je vršeno preko instalacionog prekidača (P) nazivne struje 16 A i nazivnog napona 400 V. Redno sa prekidačem su povezani vatmetar (W) i ampermeter (A), a zatim Lemova sonda (LS). Sa Lemove sonde signal se vodi na dvokanalni digitalni osciloskop (OSC) koji je povezan sa personalnim računarcem na kome je vršena akvizicija mjerene podataka.

Mjerenja su vršena za tri sijalice, jednu CFL i dvije LED sijalice (jedna je od poznatog proizvođača i veće cijene koštanja LED-1, a druga je jeftinija i od manje poznatog proizvođača LED-2).

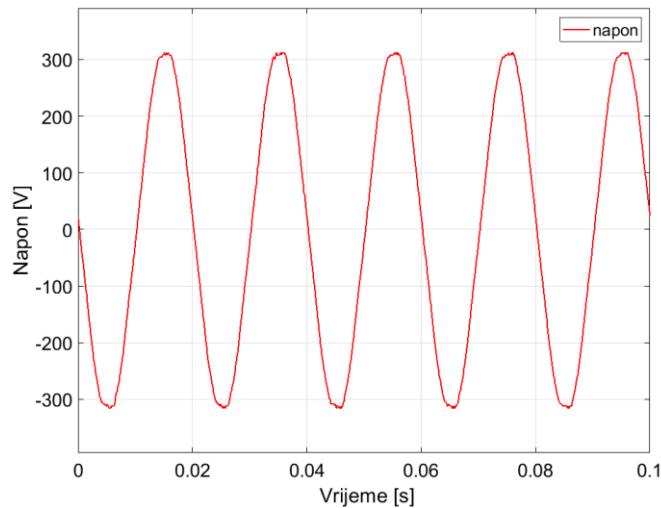
U tabeli I dat je prikaz izmjernih parametara sijalica. Nazivna snaga LED-1 sijalice je 9 W, a izmjerena je veća i iznosi 9,5 W, dok je nazivna snaga LED-2 sijalice 11 W, a izmjerena je manja i iznosi 10,3 W. Kako je izmjerena vrijednost LED-2 sijalice manja od nazivne, vjerovatno je i svjetlosni fluks ove sijalice manji od deklarisanog.

TABELA I. MJERENE VRJEDNOSTI SNAGA, STRUJA I NAPONA ANALIZIRANIH SIJALICA

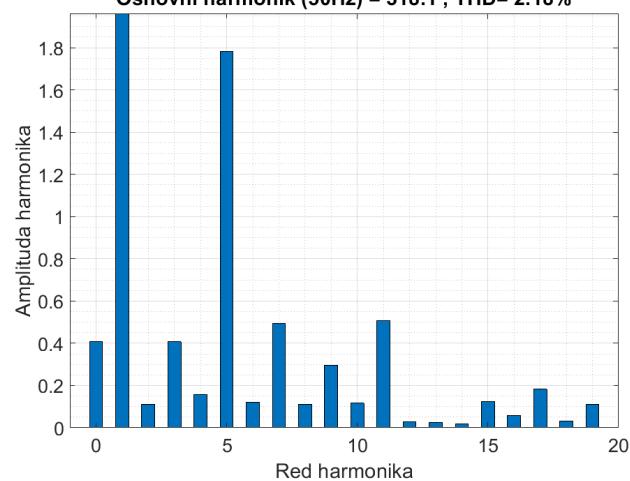
Tip sijalice	Nazivna snaga [W]	Mjerena snaga [W]	Struja [mA]	Napon [V]
CFL	15	16,7	110	229,5
LED - 1	11	10,3	75	229,5
LED - 2	9	9,5	72	229

A. Harmonijska analiza napona mreže

Talasni oblik mrežnog napona je snimljen primjenom sonde prenosnog odnosa 1:100 i prikazan je na slici 4. Harmonijski sadržaj napona mreže je prikazan na slici 5.



Osnovni harmonik (50Hz) = 318.1 , THD= 2.18%



Sl. 5. Harmonijski sadržaj napona mreže

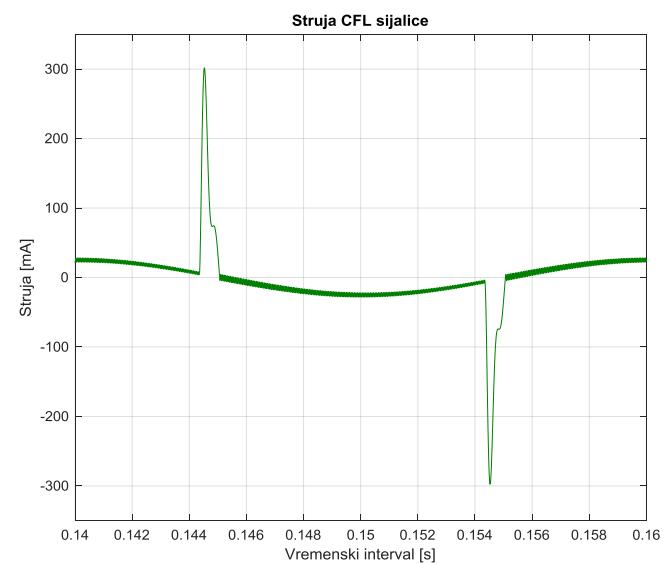
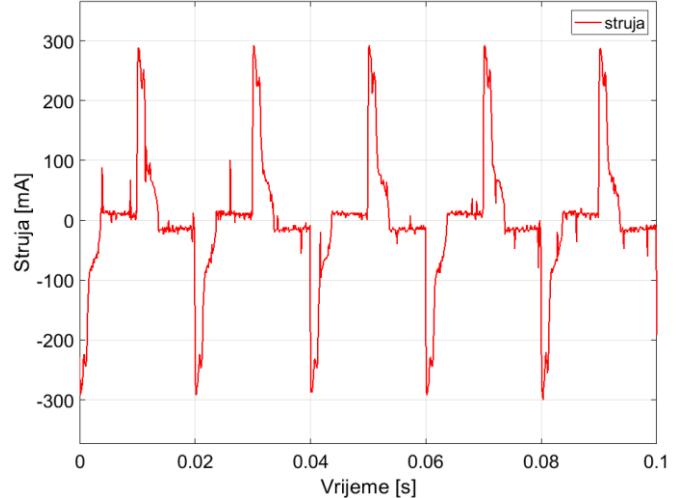
Totalna harmonijska distorzija napona mreže iznosi 2,18% što je ispod granične vrijednosti od 5%, koja je deklarisana u tehničkim preporukama. Kao što je poznato, najizraženiji harmonik u mrežnom naponu je peti, s obzirom da sprega distributivnih transformatora u trougao filtrira treći harmonik u mreži.

B. Harmonijska analiza struje CFL sijalice

Talasni oblik struje CFL sijalice koji je snimljen u laboratoriji je prikazan na slici 6 i isti je izrazito izobličen višim harmonicima. Na slici 7 je prikazan talasni oblik struje CFL sijalice koji je dobijen numeričkim proračunima.

CFL sijalice predstavljaju izrazito nelinearne potrošače, tako da njihove struje sadrže harmonike koji ne postoje u

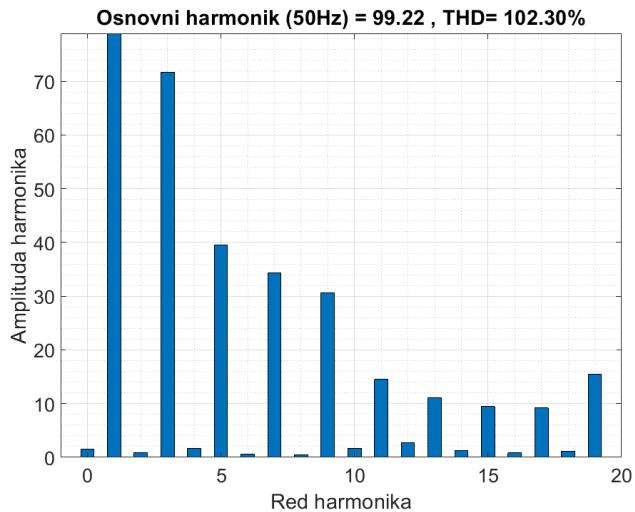
naponu napajanja. Kao rezultat toga registruje se značajna vrijednost faktora totalne harmonijske distorzije. U analiziranom slučaju $THD = 102,30\%$. Izražene su vrijednosti neparnih harmonika. Posebno je izraženo učešće trećeg harmonika. Uočava se dosta dobro slaganje talasnih oblika struja koje su dobijene mjerenjem i simulacijama, što znači da je kreirani simulacioni model tačan i pouzdan za proračune.



Na slici 8 je prikazan sadržaj viših harmonika u talasnom obliku struje sijalice koji je snimljen u laboratoriji. THD struje je veoma loš i iznosi 102,3%, uz visok sadržaj neparnih viših strujnih harmonika.

U tabeli II su date granične vrijednosti pojedinačnih harmonika struje potrošača u procentualnom iznosu osnovnog harmonika prema standardu IEC 61000-3-2 [8], kao i izmjerene vrijednosti viših harmonika mjerene struje CFL

sijalice. Za faktor snage sijalice je usvojena teorijska vrijednost PF=0,6.



Sl. 8. Harmonijski sadržaj struje CFL sijalice

TABELA II. POREĐENJE MJERENIH VRIJEDNOSTI VIŠIH HARMONIKA U STRUJI CFL SIJALICE NASPRAM NJIHOVIH GRANIČNIH VRIJEDNOSTI PREMA STANDARDU IEC 61000-3-2

Red harmonika	IEC standard Harmonici struje [%]	Mjerenje Harmonici struje [%]
<i>Paran harmonik</i>		
2	2	0,9
<i>Neparni harmonici</i>		
3	$30\% \times PF = 30 \times 0,6 = 18$	71,75
5	10	39,53
7	7	34,29
9	5	30,63
$9 < n < 39$	3	11,92

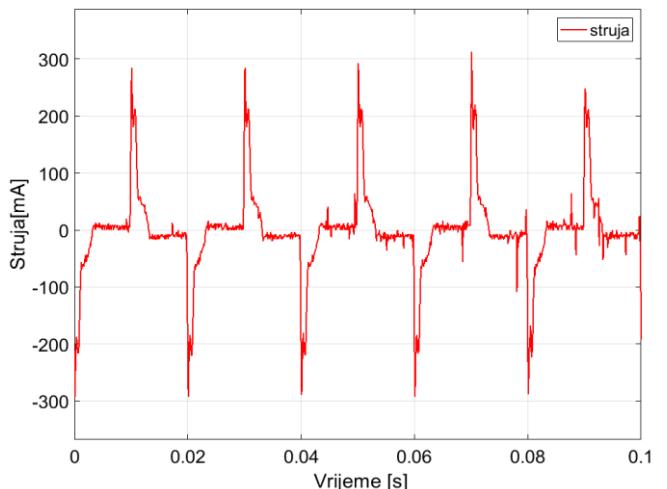
Prema standardu IEC 61000-3-2 postoje dva kriterijuma od kojih bar jedan mora biti zadovoljen kada su u pitanju viši strujni harmonici:

- Granične vrijednosti individualnih harmonika struje potrošača su date u tabeli II.
- Treći harmonik struje potrošača ne smije da prelazi 86%, a peti harmonik 61% vrijednosti osnovnog harmonika struje.

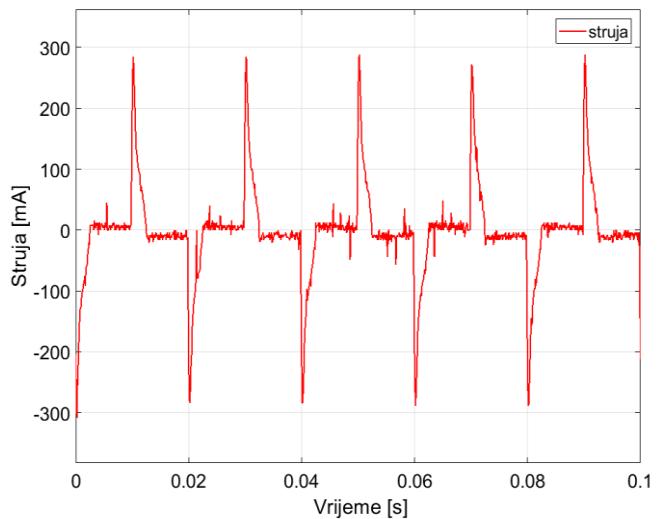
Uočava se da samo drugi harmonik struje zadovoljava prvi kriterijum standarda IEC 61000-3-2. Drugi kriterijum ovog standarda je zadovoljen jer treći harmonik struje CFL sijalice iznosi 71% (granica je 86%), a peti harmonik iznosi 39,53% (granica je 61% osnovnog harmonika). S obzirom da je drugi kriterijum standarda IEC 61000-3-2 zadovoljen analizirana CFL sijalica zadovoljava standardne po pitanju generisanja viših strujnih harmonika.

C. Harmonijska analiza struja LED sijalica

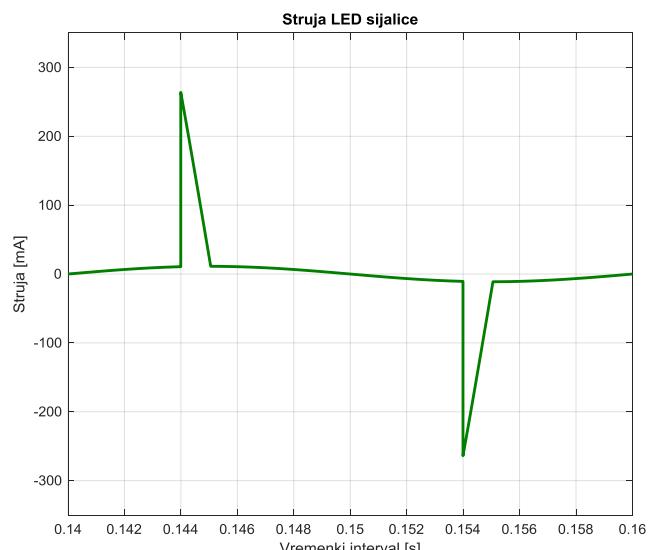
Talasni oblici struja LED sijalica koji su snimljeni u laboratoriji su prikazani na slikama 9 i 10. Na slici 11 je prikazan talasni oblik struje LED sijalice koji je dobijen numeričkim proračunima.



Sl. 9. Talasni oblik struje LED-1 sijalice snimljen u laboratoriji

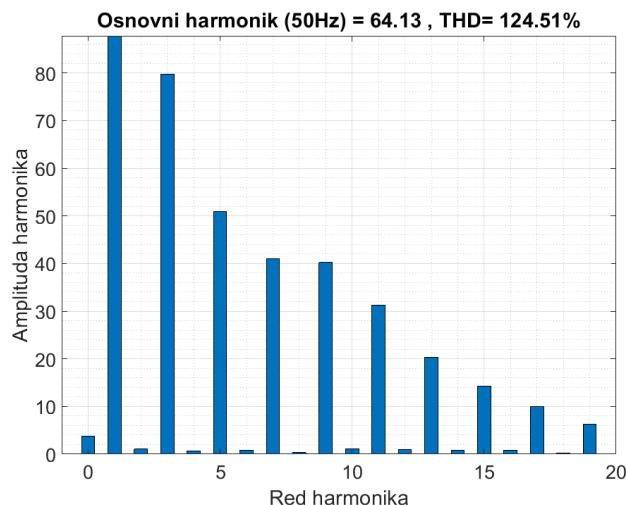


Sl. 10. Talasni oblik struje LED-2 sijalice snimljen u laboratoriji

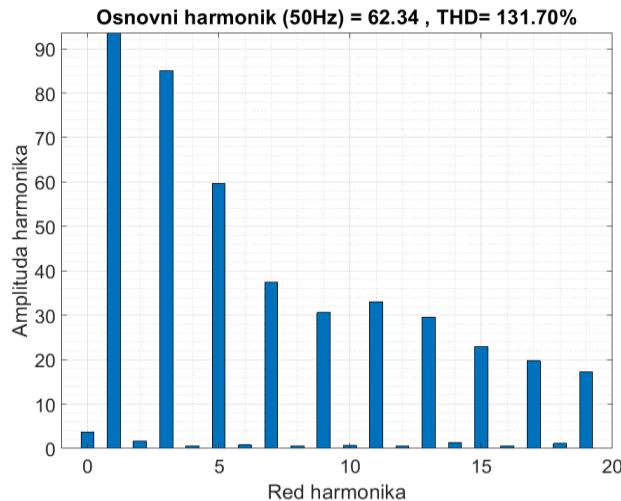


Sl. 11. Talasni oblik struje LED sijalice dobijen numeričkim proračunima

Na slikama 12 i 13 je prikazan sadržaj viših harmonika u talasnim oblicima struja LED sijalice koji su snimljeni u laboratoriji.



Sl. 12. Harmonijski sadržaj struje LED-1 sijalice



Sl. 13. Harmonijski sadržaj struje LED-2 sijalice

Kao i kod CFL sijalica, i LED sijalice imaju struju veoma izobličenog talasnog oblika. Sa grafika se mogu uočiti minimalne razlike u talasnim oblicima struja LED sijalica brendiranog i manje poznatog proizvođača. Talasni oblik struje simulacionog modela LED sijalice više odgovara LED-2 sijalici iz razloga što su u proračunima i modelima korištene vrijednosti upotrebljenih elemenata koje su odgovarale datoj sijalici. Bez obzira na tu činjenicu, jasno se može vidjeti da i ovakav model LED sijalice može da zadovolji u daljim analizama ovog tipa rasvjetnih tijala.

LED sijalice imaju veoma visok faktor totalne harmonijske distorzije koji je veći nego kod CFL sijalice, s tim što je *THD* faktor lošiji kod sijalice manje poznatog brenda. Procentualne vrijednosti viših harmonika obje LED sijalice su dati u tabeli III. Za faktor snage usvojena je njegova teorijska vrijednost od $PF=0,5$. Ni LED sijalice ne zadovoljavaju prvi

kriterijum standarda IEC 61000-3-2 po pitanju sadržaja viših harmonika, ali kao i CFL sijalica zadovoljavaju drugi kriterijum. Naime, LED-2 sijalica sadrži treći harmonik u iznosu od 85,13% (granica je 86% vrijednosti osnovnog harmonika), a peti harmonik u iznosu od 59,60% (granica je 61% vrijednosti osnovnog harmonika), dok struja LED-1 sijalice ima sadržaj trećeg i petog harmonika od 79,2% i 50,92% respektivno, što je ispod granice koju definiše standard.

TABELA III. POREĐENJE MJERENIH VRIJEDNOSTI VIŠIH HARMONIKA U STRUJI LED SIJALICA NASPRAM NJIHOVIH GRANIČNIH VRIJEDNOSTI PREMA STANDARDU IEC 61000-3-2

Red harmonika	IEC standard harmonici struje [%]	Mjerenje harmonici struje [%]	
		LED 1	LED 2
<i>Paran harmonik</i>			
2	2	1,07	1,64
<i>Neparni harmonici</i>			
3	$30\% \times PF = 30 \times 0,5 = 15$	79,82	85,13
5	10	50,9	59,60
7	7	41,06	37,47
9	5	40,26	30,63
$9 < n < 39$	3	16,44	24,42

V. ZAKLJUČAK

Prilikom primjene novih tehnologija u osvjetljenu prvenstveno se vodi računa o uštedi električne energije. Sa druge strane, neophodno je voditi računa i o kvalitetu električne energije koji se isporučuje potrošačima kako bi se spriječio niz neželjenih efekata koje loš kvalitet električne energije može prouzrokovati kako u mreži, tako i kod potrošača. Iz tog razloga veoma je bitno uvođenje graničnih vrijednosti sadržaja viših harmonika u struji potrošača.

U slučaju da talasni oblik struje CFL i LED sijalica ne zadovoljava standardom propisane vrijednosti, može se vršiti popravka talasnog oblika struje ugradnjom odgovarajućih električnih filtera koji istovremeno smanjuju *THD* faktor i povećavaju faktor snage potrošača. Analizirane sijalice su napravljene tako da su njihovi odgovarajući parametri harmonijskog izbjličenja struje u dozvoljenim granicama. Ipak, talasni oblici struja ovih sijalica su veoma izobličeni tako da se u budućnosti može očekivati veće izobličenje talasnog oblika napona u niskonaponskoj mreži i lošiji kvalitet električne energije koja se isporučuje potrošačima.

LITERATURA

- [1] Zhiliang Wei, "Compact Fluorescent Lamps phase dependency modelling and harmonic assessment of their widespread use in distribution systems", University of Canterbury, Christchurch, New Zealand, Sep. 2009.
- [2] Nabava i zaštita okoliša, Smjernice – učinkovita rasvjeta, dostupno na: <https://www.enu.hr>
- [3] V. Katić, A. Tokić, T. Konjić, Kvalitet električne energije, Ed. J. Milanović, CEFES EU Tempus Project, Novi Sad, jun 2007.
- [4] S. Mujović, V. Katić, J. Radović, „Uticaj grupisanja nelinearnih potrošača malih snaga na redukovanje harmonijskog spektra generisane struje“, ETF Journal of Electrical Engineering, br. 1
- [5] Muhyaddin J. H. Rawa, David W. P. Thomas, Mark Sumner, "Experimental Measurements and Computer Simulations of FL and CFL

- Lamps for Harmonic Studies”, 2014 UKSim-AMSS 16th International Conference on Computer Modelling and Simulation
- [6] Chun-An Cheng, En-Chih Chang, Ching-Hsien Tseng and Tsung-Yuan Chung, “A Single-Stage LED Tube Lamp Driver with Power-Factor Corrections and Soft Switching for Energy-Saving Indoor Lighting Applications”, Applied Sciences, Sep 2017.
- [7] A. Tokić, M. Kasumović, D. Bago, V. Milardić, B. Filipović – Grčić, „LED sijalice kao izvori viših harmonika“, BH K/O CIRED, oktobar 2018.
- [8] IEC 61000-3-2:2018, Electromagnetic compatibility (EMC) - Part 3-2: Limits - Limits for harmonic current emissions (equipment input current ≤ 16 A per phase).

ABSTRACT

In this paper the basic characteristics of CFL and LED lighting are analyzed. Special attention was paid to the analysis of their influence on the electric power quality in the network. A

simulation model of the described lighting bodies was created and experimental measurements of the current of these consumers were performed. An analysis of currents waveforms was performed, and its harmonic spectrum was determined. The value of the total harmonic distortion factor (THD) was determined, which quantifies the level of the presence of higher harmonics in the waveform of the current. At the end of the paper, the basic conclusions about the influence of the mentioned lighting bodies on the quality of electricity were presented.

INFLUENCE OF CFL AND LED LIGHTING ON THE ELECTRIC POWER QUALITY

Sanja Jović, Marko Ikić, Mladen Banjanin, Goran Vuković