

# Merilni sistem za določanje kvalitete LED svetlobnih virov za gospodinjstva

Matic Markovič

Univerza v Mariboru, Fakulteta za elektrotehniko, računalništvo in informatiko, Koroška cesta 46, 2000 Maribor  
E-pošta: matic.markovic@student.um.si

## Measuring system for determining the quality of LED light sources for household use

**Abstract.** Modern LED light sources have many advantages as well as some disadvantages. One of the disadvantages is the pulsating luminous flux, which in some cases negatively affects people's health and well-being. The paper describes the design and making process of a measuring system for determining the quality of LED substitutes for conventional light bulbs and an overview of LED light bulbs for household use. The measurement system is controlled using MATLAB software environment, in which data processing and plotting of the results are also performed. We provided 59 different LED light bulbs from 37 manufacturers and performed the measurements. The light bulbs are classified based on the percentage of fluctuations in luminous flux and the percentage of deviation of the measured luminous flux compared to the value stated on the packaging by manufacturer.

## 1 Uvod

Dandanes je na trgu na voljo vse več sijalk s svetlečimi diodami, ki so že skoraj povsem nadomestile klasične žarnice z žarilno nitko, varčne sijalke in halogenske sijalke. Vzporedno s številnimi prednostmi LED sijalk, raziskave kažejo tudi njihove slabosti. Večini umetnih virov svetlobe namenjenih splošni razsvetljavi niha amplituda svetlobnega toka, to seveda velja tudi za LED sijalke [1]. Pulzirajoči svetlobni tok LED sijalk oz. utripanje, je pogojeno z nihanjem amplitude električnega toka, ki teče skozi sijalko. Posledice izpostavljenosti svetlobnemu viru, ki oddaja pulzirajoči svetlobni tok, so bile opažene npr. pri delavcih v nočnih izmenah, ki so poročali o pogostejših glavobolih, utrujenosti in motnjah koncentracije [2, 3].

V sklopu projekta smo naredili pregled strokovne in znanstvene literature na temo negativnih vplivov pulzirajočega svetlobnega toka na ljudi. Načrtovali in izdelali smo prenosljivi merilni sistem, ki omogoča izvedbo več meritev za določanje kvalitete LED nadomestkov klasičnih žarnic. Omejili smo se na testiranje le gospodinjstvih svetlobnih virov s premerom sevalnega dela maksimalno 65 mm, saj ima redkokateri svetlobni vir za gospodinjstva večjo silhueto.

Merilni sistem je krmiljen z uporabo programskega okolja MATLAB, s katerim so izrisani tudi rezultati:

- meritev za opazovanje nihanja svetlobnega toka [pu] in izpis deleža nihanja, napram maksimalni izmerjeni vrednosti svetlobnega toka [%],
- meritev izmeničnega električnega toka v stikalni pretvornik [A],
- meritev osvetljenosti [lx] in izris polarnega diagrama prostorske porazdelitve svetilnosti sijalke [cd] ter izris frekvenčnega spektra amplitude svetlobnega toka [pu],
- meritev svetlobnega toka, ki ga oddaja sijalka [lm].

Po končani izdelavi merilnega sistema, smo priskrbeli sijalke različnih proizvajalcev, ki so na voljo na slovenskem trgu in izvedli našete meritve. Preučili smo dobljene rezultate in izbrane sijalke razvrstili. Ključna parametra, ki smo ju upoštevali sta: delež nihanja napram temenski izmerjeni vrednosti svetlobnega toka in odstopanje vrednosti svetlobnega toka, ki ga oddaja sijalka, v primerjavi z vrednostjo, ki je navedena s strani proizvajalca.

## 2 Merilni sistem

Merilni sistem je sestavljen večinoma iz lastno izdelanih komponent (namensko modeliranih s programsko opremo SolidWorks in natisnjenih s 3D tiskalnikom), komponent, ki jih je mogoče dobiti na trgu ter lastno razvitega elektronskega sklopa. Vsak natisnjen del ima svojo nalogo in je prilagojen standardnim komponentam. Slika 1 kaže izdelan merilni sistem, komoro za preprečevanje vpliva zunanje svetlobe na meritve in ločilni transformator.



Slika 1: Merilni sistem.

### 2.1 Vrtljiva drsna miza z držalom sijalke

Vrtljiva drsna miza je sestavljena iz natisnjene povezovalne podlage, ki služi namestitvi koračnega motorja, kotalnega radialnega ležaja in končnega stikala na točno določeno predvideno mesto. Med izvajanjem meritev potrebujemo natančen zasuk vrtljive drsne mize z držalom sijalke, kar omogoča koračni motor.

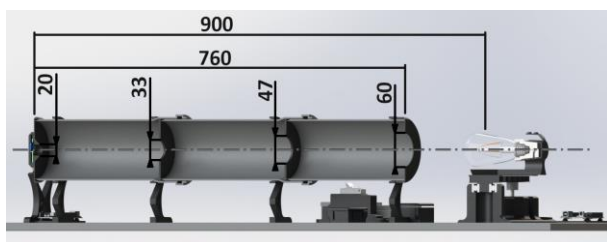


Slika 2: Vrtljiva drsna miza merilnega sistema in 3D model.

Prenos kota zasuka koračnega motorja z zobatim jermenom zagotavlja miren tek brez zdrsa. Med izvajanjem meritev koračni motor spreminja zasuk drsne mize z vpeto sijalko od 0° do 180° s korakom 3,6°. Vzorčenje 51 meritev se je izkazalo kot dovolj pogosto za izris polarnega diagrama kotne porazdelitve svetilnosti. Slika 2 kaže modelirano nastavljivo drsno mizo z držalom za grlo sijalk E27, ki nameščena na zgornjo stran gnane jermenice. Grlo lahko pomikamo po drsni mizi, kar omogoča izvedbo meritev sijalk različnih dimenzij.

## 2.2 Tunel z zaslonkami

Slika 3 kaže tunel z zaslonkami, ki služi kot filter svetlobe usmerjene proti senzorju. Prepušča le direktno svetlobo, ki od svetlobnega vira vpada pravokotno na senzor osvetljenosti, nameščen na koncu tunela. Tunel je sestavljen iz polno stenskih PVC cevi sive barve, ki so za namen čim večje absorpcije svetlobe na notranjih stenah pobarvane s črno mat barvo. Večje površine notranjih sten cevi in zaslonke so oblepljene s finim žametom črne barve, ki zelo dobro absorbira vpadlo svetlobo. Odbita svetloba naleti na pregrade in absorpcijsko tkanino, kjer se v veliki meri absorbira in tako po nekaj odbojih doseže zanemarljivo amplitudo. Tunel je nameščen na natisnjene podporne noge. Tako je vzdolžna simetrala cevi na enaki višini središča sijalke, središča natisnjene držala za grlo sijalk, senzorja osvetljenosti in fotodiode na koncu tunela.



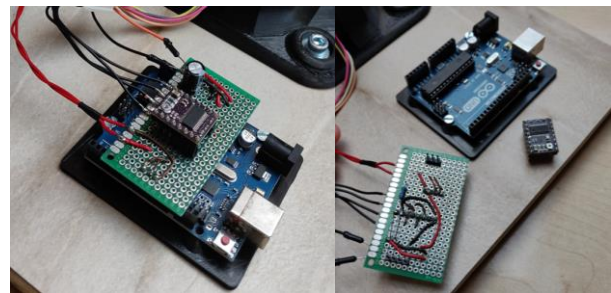
Slika 3: Prerez merilnega sistema z dimenzijami [mm] in zaslonke tunela s progresivnimi premeri notranjih odprtini.

## 2.3 Elektronski sklop za krmiljenje koračnega motorja

Slika 4 kaže koračni motor s krmilnim elektronskim sklopom, ki je uporabljen za zasuk sijalke okoli središča njenega sevalnega dela. Ob zagonu programa se izvede ničenje položaja za izvedbo meritve z uporabo končnega stikala.

Koračni motor je krmiljen s programom, zapisanim v MATLAB-u, ki z uporabo serijske povezave, preko mikrokrmilnika Arduino UNO pošlje ukaz za zasuk držala s sijalko. V programu, ki se izvaja na Arduino

UNO, so zapisani 4 pogoji, ki preverjajo vrednost v spremenljivki in tako se izvede del programa, ki je bil zahtevan (omogoči koračni motor, onemogoči koračni motor, sijalko zapelji na izhodiščni položaj 0°, zasuk drsne mize za 3,6°).



Slika 4: Elektronski sklop za krmiljenje koračnega motorja s krmilnikom DRV8825 in izdelanim vezjem.

## 2.4 Elektronski sklop za meritev osvetljenosti

Sijalkam želimo izmeriti kotno porazdelitev svetilnosti in meritve prikazati v polarnem diagramu. To dosežemo s senzorjem osvetljenosti, s katerim izmerimo vrednosti pri različnih kotih sijalke. Nato izmerjene vrednosti preračunamo v svetilnost tako, da vrednost osvetljenosti množimo s kvadratom razdalje med svetlobnim virom in senzorjem, kot kaže enačba (1).

$$I = E \cdot d^2 \quad (1)$$

Uporabili smo senzor osvetljenosti VEML7700. Ta je povezan na I2C vodilo mikrokrmilnika Arduino, kateremu poda že izračunano vrednost v luksih. Omogoča merjenje vrednosti z ločljivostjo 0,0036 luks. Nameščen je v namensko odprtino tiskanega vezja za merjenje svetlobnega toka. Senzor je usmerjen pravokotno na sijalko in sprejema svetlobo skozi zadnjo zaslonko tunela s premerom 20 mm.

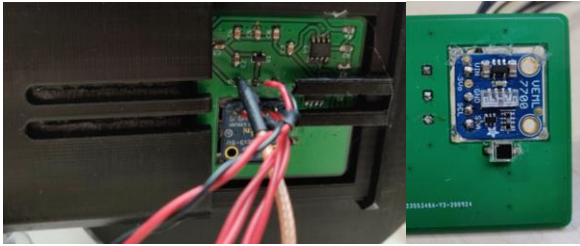
## 2.5 Merilni sistem za hiter zajem podatkov

Merilni sistem za hiter zajem podatkov je sestavljen iz merilne platforme Red Pitaya in lastno izdelanega elektronskega sklopa. Za zajem podatkov za opazovanje hitrih sprememb električnega in svetlobnega toka smo uporabili hitra analogna vhoda, ki omogočata zajem podatkov s 125 MS/s. Red Pitaya je z MATLAB-om povezana preko Ethernet vodila. Zajem vzorcev napetosti na izhodu elektronskega sklopa in padca napetosti na merilnem uporu sta izvedena z aplikacijo na merilni platformi Red Pitaya, ki omogoča pretočno pošiljanje podatkov. Podatke smo zajemali 0,5 s in jih shranjevali v zvočno datoteko (WAV).

## 2.6 Vezje za opazovanje hitrih sprememb svetlobnega toka

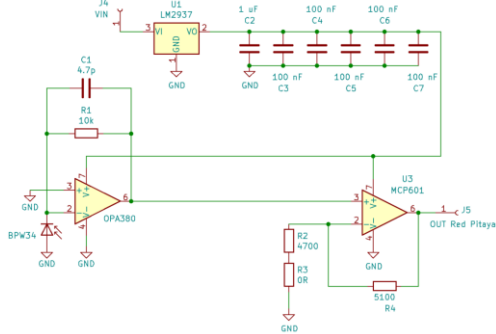
LED sijalke ne oddajajo konstantnega svetlobnega toka, kar je pogojeno z nihanjem amplitude električnega toka, ki teče skozi sijalko. Sijalke oddajajo pulzirajoči svetlobni tok (utripajo), kar lahko v nekaterih okoliščinah negativno vpliva na zdravje in počutje oseb, izpostavljenim takšni svetlobi. Sijalke različnih proizvajalcev se razlikujejo po kvaliteti izdelave in deležu amplitude pulzirajočega svetlobnega toka

napram temenski izmerjeni vrednosti svetlobnega toka. Večji je delež nihanja, večji je tudi vpliv na ljudi, ki so izpostavljeni svetlobi. Izdelano vezje za merjenje hitrih sprememb svetlobnega toka nameščeno na koncu tunela kaže slika 5.



Slika 5: Izdelano tiskano vezje.

Vezje za opazovanje hitrih sprememb svetlobnega toka smo simulirali v simulacijskem orodju LTSpice in izdelavo načrtovali v KiCAD-u. Slika 6 kaže električno shemo vezja. V vezje smo vključili hitro fotodiodo, ki absorbira vpadle fotone in v odvisnosti moči vpadle svetlobe generira električni tok. Transimpedančni ojačevalnik električni tok pretvori v merljivo električno napetost. Vrednosti napetosti so majhne zato jih z operacijskim ojačevalnikom ojačamo.

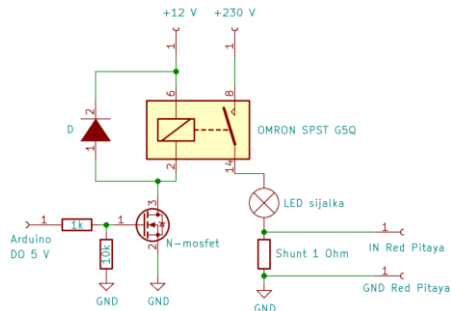


Slika 6: Shema senzora hitrih sprememb osvetlitve.

### 2.7 Vezje za meritev električnega toka skozi sijalko in vklop napajanja sijalke

Tok, ki ga merimo, je AC tok omrežne napetosti. Meritev električnega toka skozi sijalko je izvedena z uporabo merilnega upora. Zajem vrednosti je izveden z merilno platformo Red Pitaya, s 300 kS/s.

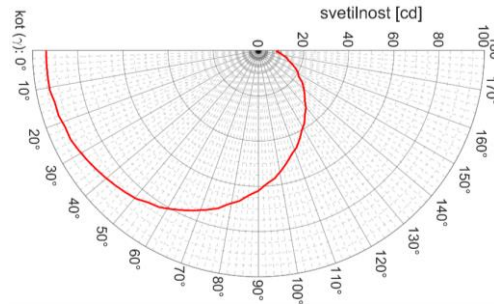
Z merilnim sistemom smo izvedli meritve 59 LED sijalk. Zaradi velikega števila izbranih sijalk smo izvedbo avtomatizirali. Tako tudi zagotovimo enake pogoje vsem sijalkam. Vezje za vklop in izklop sijalke kaže slika 7.



Slika 7: Električna shema vezja za meritev električnega toka in vklop/izklop sijalke.

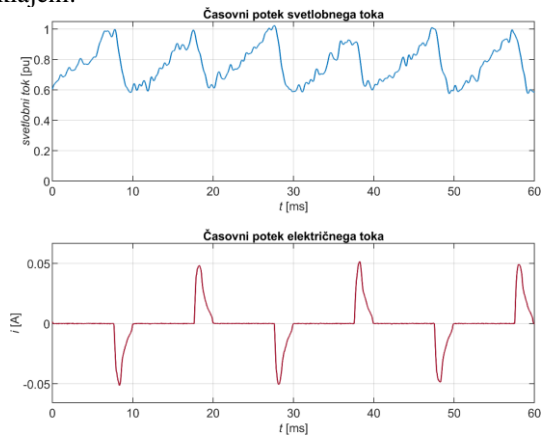
## 3 Rezultati

Cilj meritev sijalk je ugotoviti, katere sijalke so kvalitetne po parametru majhnega deleža nihanja svetlobnega toka napram maksimalni vrednosti in če ustrezajo karakteristikam, navedenim na embalaži. Tako smo izmerjene sijalke razvrstili glede na izbrana parametra. V nadaljevanju je podan primer rezultatov meritev sijalke. Slika 8 kaže izris polarnega diagrama prostorske porazdelitve svetilnosti sijalke.



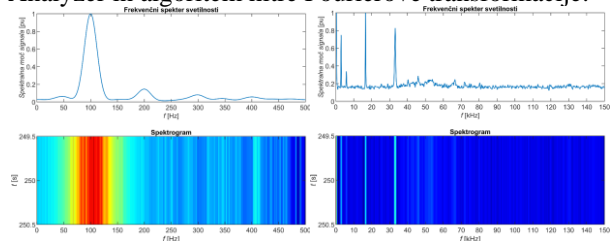
Slika 8: Izris polarnega diagrama prostorske porazdelitve svetilnosti.

Slika 9 kaže časovni potek svetlobnega toka, ki ga sijalka oddaja in električnega toka, ki teče skozi sijalko. Abscisa izrisa je časovna os, s potekom od začetka meritve do preteka 60 ms. Abscisni osi izrisov sta usklajeni.



Slika 9: Časovni potek svetlobnega in električnega toka do 60 ms.

Slika 10 kaže analizo signala svetlobnega toka v frekvenčnem prostoru. Uporabili smo aplikacijo Signal Analyzer in algoritem hitre Fourierove transformacije.



Slika 10: Analiza signala v frekvenčnem prostoru do 500 Hz in do 150 kHz.

Na levem izrisu vidimo, da je največja spektralna moč pri frekvenci 100 Hz, kar pomeni dvojna frekvenca omrežne napetosti, oziroma da ob vsaki polperiodi omrežne napetosti steče tok v sijalko. FFT v

frekvenčnem območju do 500 Hz smo izrisali, ker kaže izstopajoče frekvence, ki so v ljudem zaznavnem območju frekvenc, kar pomeni, da obstaja možnost vpliva nihanja svetlobnega toka na ljudi. Na desnem izrisu, območje do 150 kHz vidimo stikalno frekvenco pretvornika LED sijalke.

### 3.1 Seznam testiranih sijalk in rezultati meritev

V tabeli 1 je za vsako testirano sijalko naveden naziv proizvajalca, oznaka sijalke, delež nihanja napram maksimalni izmerjeni vrednosti svetlobnega toka in odstopanje izmerjene vrednosti svetlobnega toka od svetlobnega toka navedenega na embalaži. Odločili smo se za navedbo rezultatov meritev tretjine najboljših LED sijalk, glede na izbrana parametra. Tako dosežemo glavni cilj projekta, da je potrošnikom na voljo seznam LED sijalk, ki so se glede na izbrani parameter med testiranimi sijalkami uvrstile med najboljše. Navedba sijalk, ki se niso uvrstile med najboljšo tretjino potrošnikom ne bi koristila.

Meritev svetlobnega toka sijalke z največjim deležem nihanja svetlobnega toka znaša 82,4 %.

Meritev sijalke z največjim odstopanjem izmerjene vrednosti svetlobnega toka od svetlobnega toka navedenega na embalaži znaša - 47,4 %.

Tabela 1: Seznam testiranih sijalk in rezultati meritev.

Proizvajalec in oznaka sijalke	Delež nihanja [%]	Odstopanje [%]
SYLVANIA (ToLEDo Retro GLS)	/	/
SYLVANIA (ToLEDo GLS)	8,4	- 4,5
LIGHTWAY	/	4,8
XAVAX	11,5	/
BELLALUX	/	- 3,1
EMOS (LED filament)	/	/
EMOS (LED A60, step dimmable)	8,9	/
EMOS (LED Classic)	0,0	/
OSRAM (LED value classic A60)	12,8	/
OSRAM (LED star classic A60, retrofit)	/	/
OPTONICA	/	3,5
WELL LIGHT (Basic)	/	/
PHILIPS (CorePro LEDbulb)	7,8	/
AVIDE	/	/
OSRAM (LED superstar P25 advanced)	/	/
OSRAM (Parathom classic A100)	7,6	- 0,3
BOXXX	/	/
HOMEWARE (LED filament)	/	/
HOMEWARE	/	6,5
V-TAC (LED A60 bulb)	/	/
V-TAC (Pro Samsung LED chip)	/	- 3,3
V-TAC (Dimmable filament A67 bulb)	/	/
V-TAC (LED R80 bulb)	5,0	- 6,3
ETA	12,2	/
ETA (LED filament)	/	/
TESLA (LED filament)	/	/
TESLA (reflektorska)	4,1	/
TESLA	/	/
TUNGSRAM (LED filament)	/	/
TUNGSRAM	/	/
BLAUPUNKT (G45 LED)	/	/
BLAUPUNKT (A60 LED)	8,3	- 5,1
GOOBAY	11,5	/
GOOBAY (LED filament)	/	2,3
FEROTEHNA	/	/
VOLTOLUX (LED filament)	/	/
VOLTOLUX	7,8	- 6,3
SIMPEX (LED filament, dimmable)	/	- 1,0
SIMPEX	/	/
S-BUDGET	/	/
S-BUDGET (LED filament)	/	/
COMMEL	10,1	- 5,7
TORE	8,6	0,6

KOBI-LIGHT	10,8	/
KOBI-LIGHT (LED filament, retro)	/	/
VP-EL	5,5	/
GLOBO	/	- 5,7
GLOBO (LED filament)	/	- 3,3
HOROZ	/	/
ISKRA	/	1,6
ISKRA (LED filament)	/	/
EGLO (LED filament, dimmable)	/	/
GE LIGHTING (LED filament)	/	/
GE LIGHTING	/	- 0,9
BRILAGI (ECO line A60)	11,2	/
FARO (milky LED)	/	- 7,2
EMITHOR	/	/
EGLO (dimmable)	10,8	/
PAULMANN (LED filament, dimmable)	/	/

Kupili smo 59 različnih LED sijalk, ki jih kaže slika 11.



Slika 11: Merjene sijalke.

## 4 Zaključek

Ugotovitve meritev so, da svetlobni tok LED sijalk ni konstanten in da svetlobni tok LED sijalk niha z dvakratnikom omrežne frekvence ter s stikalno frekvenco pretvornika. Ugotovljeno je bilo, da obstaja odstopanje vrednosti svetlobnega toka, ki ga oddaja sijalka od vrednosti, ki je navedena na embalaži sijalke, s strani proizvajalca. Rezultati kažejo velika odstopanja med različnimi sijalkami. Precej sijalk zelo negativno odstopa, ima veliko nihanje svetlobnega toka in ne dosega na embalaži navedene vrednosti svetlobnega toka. Na drugi strani pa je precej sijalk, ki so kvalitetne in je njihovo odstopanje minimalno. Tako lahko izberemo sijalke, ki so bolj kvalitetne.

## Zahvala

Iskreno se zahvaljujem mentorju dr. Primožu Sukiču in prof. mag. Andreju Orgulanu za nasvete in vodenje tekom dela na projektu. Zahvaljujem se tudi Laboratoriju za energetiko UM FERi in prof. Jože Pihlerju za financiranje tega raziskovalnega projekta.

## Literatura

- [1] Ya. A. Serikov, L. A. Nazarenko, K. S. Serikova. Non-visual exposure to light as a production factor of the influence of lighting of the working area on labor productivity and safety of workers. (5. 6. 2019). Metrology and instruments. Dosegljivo: <https://mmi-journal.org/index.php/journal/article/view/223/232>. [Datum dostopa: 5. 5. 2021].
- [2] R. Inger, J. Bennie, T. W. Davies, K. J. Gaston. Potential biological and ecological effects of flickering artificial light. (29. 5. 2014). PLoS One. Dosegljivo: <https://journals.plos.org/plosone/article?id=10.1371/journal.pone.0098631>. [Datum dostopa: 4. 5. 2021].
- [3] K. Berzina, I. Zicmane, "The Impact of Lighting Fluctuations on Anthropological Aspects," v 2018 IEEE International Conference on Environment and Electrical Engineering, IEEE. Palermo, 2018, str. 1-4.