

Andrej Đuretić
„Minel-Schröder d.o.o.” Fabrika svetiljki, Beograd

ELEKTROMAGNETSKA KOMPATIBILNOST LED SVETILJKI

Apstrakt

Da bi električna oprema mogla da se slobodno stavi u upotrebu i na tržište, ona mora da ispunji zahteve (uslove) za elektromagnetsku kompatibilnost, koja predstavlja sposobnost različitih uređaja da rade bez međusobnog ometanja. Pod električnom opremom se smatra svaki aparat kao završen uređaj ili kombinacija tih uređaja koji su kao samostalne funkcionalne jedinice namenjene krajnjem korisniku, kao i komponente ili podsklopovi namenjeni za ugradnju u aparat od strane krajnjeg korisnika. Svaki uređaj može da prouzrokuje elektromagnetske smetnje kod drugih uređaja i/ili na njega smetnje koje potiču od drugih uređaja mogu da utiču pogoršavajući njegove radne karakteristike.

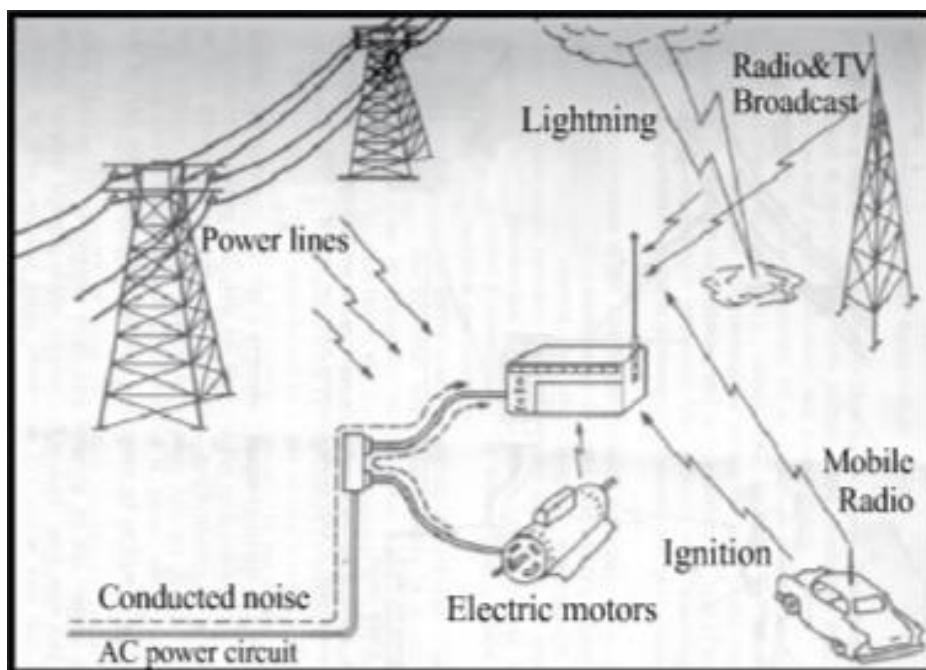
Svetlosna oprema se po ovom pitanju ne razlikuje od ostalih električnih uređaja i za nju (svetiljke kao integrisane sisteme ili pojedinačne komponente unutar istih) postoje određena pravila definisana međunarodnim standardima ili preporukama kojima se uređuje bezbednost ove opreme. Prateći globalni trend i sve veće prisustvo i popularnost LED tehnologije (i u uličnom osvetljenju), autor se odlučio za analizu elektromagnetske kompatibilnosti (EMC) kod LED svetiljki i uslova koje moraju zadovoljiti da bi pravilno radile u istom elektromagnetskom okruženju.

Uvod

Prema definiciji iz „Pravilnika o elektromagnetskoj kompatibilnosti“ ("Sl. glasnik RS", br. 13/2010), elektromagnetska kompatibilnost je sposobnost opreme da u svom elektromagnetskom okruženju radi na zadovoljavajući način i da ne prouzrokuje nedozvoljene elektromagnetske smetnje drugoj opremi u tom okruženju, pri čemu je elektromagnetska smetnja svaka elektromagnetska pojava koja može pogoršati rad opreme, kao što je elektromagnetski šum, neželjeni signal ili promena u samom mediju emitovanja elektromagnetskih talasa. Imunost (osetljivost) je sposobnost opreme da u prisustvu elektromagnetske smetnje radi bez pogoršanja njenih radnih karakteristika u skladu sa predviđenom namenom. Elektromagnetsko okruženje su sve elektromagnetske pojave koje su prisutne na određenoj lokaciji na kojoj se postavlja ispitivana oprema.

Elektromagnetno polje je sprega električnog i magnetnog polja, gde električno polje izazivaju naelektrisanja koja miruju, a magnetno polje pokretna naelektrisanja (električna struja). Elektromagnetski signali (talasi) su posledica generisanja promenljivih električnih struja i napona, pri čemu se oni mogu iskoristiti da prenesu informaciju od jedne do druge tačke ili predstavljaju neželjenu pojavu u kom slučaju se mogu tretirati kao **elektromagnetske smetnje** (*EMI - Electromagnetic interference*). EMI mogu negativno uticati na rad AM radija, mobilnih telefona, televizije, audio opreme, itd... Elektromagnetske smetnje mogu nastati kao neželjena posledica planiranih (željenih) prenosa (npr., radio i TV stanice, mobilna telefonija) ili kao posledica neplaniranog (neželjenog) zračenja (prenosna mreža, od elektrana do razvodnih postrojenja).

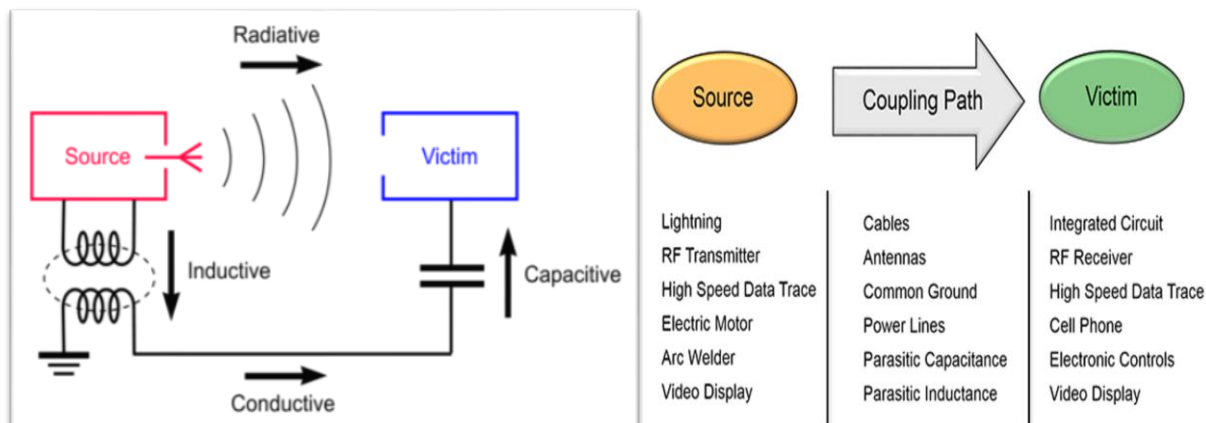
U izvesnoj meri, elektromagnetske smetnje mogu biti izazvane prirodnim pojavama (udar groma, atmosfersko zračenje, polarna svetlost...), ali je uticaj ovog tipa elektromagnetskih signala zanemarljiv kada se posmatra kroz efekte koje mogu imati na nivou električne opreme. Od mnogo većeg značaja su tehnički izvori elektromagnetskih smetnji, tj. oprema induktivnog, kapacitivnog ili rezistivnog tipa koja radi sa prekidačkom elektronikom (npr. električni motori, transformatori, grejači, izvori svetlosti, balasti, napajanja, automobilski sistemi za paljenje, mobilni telefoni...). Dva glavna potencijalna izvora elektromagnetskih smetnji su prekidački izvori napajanja i motorni pogoni (upravljačka i regulaciona elektronska kola motora). Napajanja predstavljaju sve manji problem po pitanju EMC jer većina kvalitetnih uređaja sadrži PFC blok (blok za korekciju faktora snage - vrednost faktora snage je direktno vezana sa prisustvom viših harmonika i potencijalnim EMI problemima).



Slika 1. Potencijalni izvori elektromagnetskih smetnji

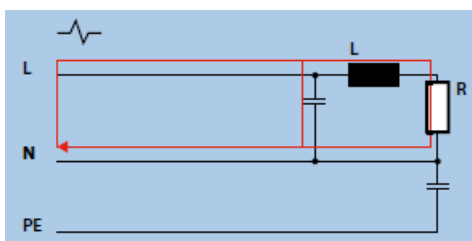
Glavna karakteristika elektromagnetskih smetnji je njihova frekvencija. EMC standardi generalno pokrivaju frekventni opseg od 0 Hz do 400 GHz. Ipak, mora se naglasiti da nisu sve zone (delovi frekventnog opsega) regulisane standardima. Većina potrošača povezanih na električnu mrežu predstavljaju za nju nelinearno opterećenje, tj. vuku iz mreže struju koja ne prati sinusoidalni oblik napona. Usled toga se generišu dodatne struje čije frekvencije predstavljaju celobrojni umnožak mrežne frekvencije (u Evropi 50 Hz), a koje se nazivaju harmonicima (harmonijskim izobličenjima struje) koji mogu biti i do 50-og reda (tj. i do 2.5 kHz, a u nekim delovima sveta do 3 kHz jer je frekvencija mreže 60 Hz). Od kraja ovog opsega pa sve do frekvencije od 9 kHz, nalazi se frekventni opseg koji trenutno nije regulisan standardima. Iznad 9 kHz počinje HF (High frequency) opseg koji se još naziva i RF opseg (radio talasi). Ovaj opseg pokriva sve frekvencije od par kHz do nekoliko GHz. EMC standardi definišu frekvenciju od 400 GHz kao gornju granicu, iako još uvek nisu definisana testiranja za tako visoke frekvencije. Važeći standardi definišu testne procedure za opseg od 9 kHz to 1 GHz, dok neki noviji standardi idu i do 2 GHz ili nešto više. Kompjuteri i komunikaciona oprema koriste osnovne frekvencije koje su već iznad 2 GHz, a imajući u vidu i više harmonike, ta granica više nije dovoljna da pokrije sve potencijalne RF probleme.

Postoje 4 načina nastajanja elektromagnetskih smetnji (slika 2), uz napomenu da je RF opseg generalno podeljen na **provodni** (kondukcioni) i **zračeni** (radijacioni) opseg. Za nastanak EMI potrebno je da postoji: 1) izvor elektromagnetske energije 2) prijemnik (žrtva) koji ne funkcioniše pravilno zbog te energije i 3) veza (sprega) između prethodna dva kojom se energija prenosi od izvora ka prijemniku (slika 2).

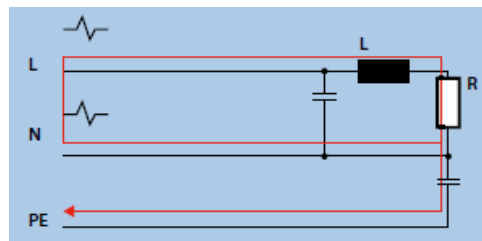


Slika 2. Načini nastajanja elektromagnetskih smetnji

- **Galvanska ili direktna sprega** (conductive coupling) se javlja kada je veza između izvora smetnji i prijemnika (žrtve) ostvarena direktnim električnim kontaktom kroz provodni medijum (npr. provodnik, kabl, koaksijalni kabl, metalno kućište, električne veze na štampanoj ploči...). Ove smetnje zavise i od provodnika u kojima nastaju:
 - 1) **CM (common-mode) režim** - EMI se javlja u bilo kojem provodniku (jednofazni ili trofazni sistem) i uvek se kreće ka zemlji (PE provodniku, slika 3a). CM smetnje nastaju kao posledica rasutih kapacitivnosti u sistemu, često između poluprovodničkih sklopova i odvodnika toplote. Češće se javljaju u opsegu visokih frekvencija.
 - 2) **DM (Differential-mode) režim** – EMI se javlja između dva provodnika (faza i nula u jednofaznom sistemu, slika 3b). CM smetnje nastaju kao posledica parazitnih komponenti u električnom kolu (ekvivalentna redna otpornost (ESR) ili induktivnost (ESL) – realne impedanse gube na tačnosti na višim frekvencijama). Ove smetnje se obično javljaju na nižim frekvencijama i vezane su za prekidačku frekvenciju primenjene elektronike (napajanja ili pogonska kola motora (motor drives)).

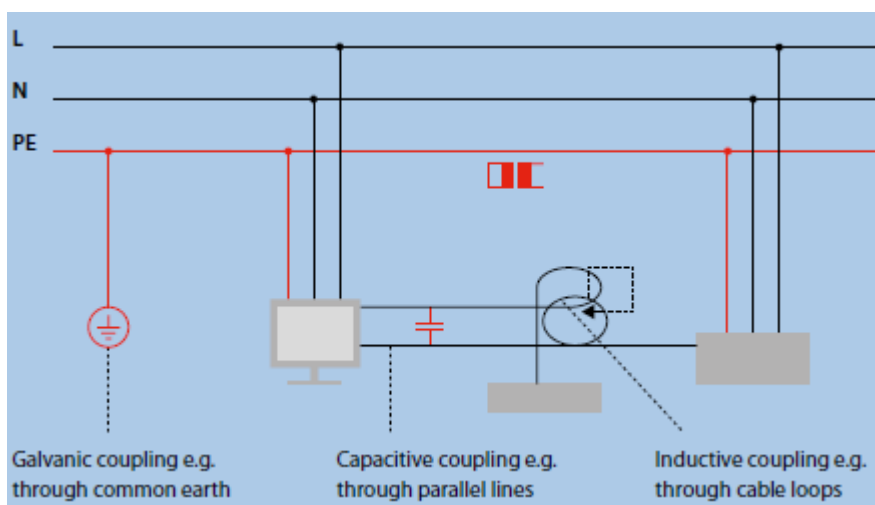


Slika 3a. CM režim



Slika 3b. DM režim

- **Induktivna ili magnetska sprega** (inductive/magnetic coupling, slika 4) se javlja tamo gde je između izvora i žrtve kratko rastojanje (tipično manje od talasne dužine). Strogo uzevši, postoje dva tipa induktivne sprege - električna i magnetska indukcija, pri čemu se električna indukcija smatra kapacitivnom spregom i objašnjena je u nastavku. Ovaj tip smetnji se javlja kada postoji promenljivo magnetno polje između dva paralelna provodnika na udaljenosti tipično manjoj od talasne dužine, a promena napona se indukuje duž provodnika “žrtve”.
- **Kapacitivna sprega** (capacitive coupling, slika 4) se javlja kada postoji promenljivo električno polje između dva susedna provodnika na udaljenosti tipično manjoj od talasne dužine, a promena napona se indukuje duž provodnika “žrtve”.



Slika 4. Galvanska, induktivna i kapacitivna sprega za nastajanje EMI

- **Radijaciona (zračena) ili elektromagnetska sprega** (radiative/electromagnetic coupling) se javlja kada se izvor i žrtva EMI nalaze na velikoj udaljenosti, tipično većoj od talasne dužine. U tom slučaju izvor i žrtva se ponašaju kao radio antene: izvor emituje ili zrači elektromagnetski talas koji se širi kroz međuprostor, gde prijemnik (žrtva) usput “kupi” ili prima signal.

U donjem delu RF opsega (za niže frekvencije) se pre očekuje da elektromagnetske smetnje putuju kroz napojne vodove (provodne EMI), dok se na višim frekvencijama očekuje da električna oprema izrači neželjenu elektromagnetsku energiju kroz vazduh (zračene EMI). Zapravo, u gornjem delu RF opsega elektromagnetno polje provodnika neće više biti ograničeno na same provodnike već će se provodnici ponašati kao antene i emitovati EM zračenje, a taj neželjeni elektromagnetni talas može „pokupiti“ bilo koja druga oprema (uređaj) koja se nađe na njegovom putu.

Iako tačne granice ne mogu biti jasno definisane, standardi obično uzimaju da je provodni opseg od 150 kHz do 30 MHz. Zračeni opseg počinje od 30 MHz, dok njegova gornja granica zavisi od standarda (obično 1 GHz, za neku opremu 2 ili 3 GHz). EMI kroz provodnik za uzemljenje su takođe česta pojava u električnim kolima. EMI na frekvencijama od 2.4 GHz mogu biti izazvane bežičnim uređajima iz grupe 802.11b and 802.11g, Bluetooth uređajima, bebi alarmima, bežičnim telefonima, i mikrotalasnim pećnicama.

Najveći broj elektromagnetskih smetnji nastaje u frekventnom opsegu 30 – 300 MHz.

Harmonics	LF range	Conducted RF range	Conducted RF range	Radiated RF range	Radiated RF range
50 Hz–2/2.5 kHz 60 Hz–2.4/3 kHz	2/2.5 Hz–9 kHz 2.4/3 kHz–9 kHz	9 kHz–150 kHz	150 kHz–30 MHz	30 MHz–1/2/3 GHz *	Above 3 GHz
Regulated range		Regulated range for some products			
Unregulated range		* Upper limit depends on product			

Slika 5. Granice frekventnih opsega

Da bi se obezbedio pravilan rad različitih uređaja u istom elektromagnetskom okruženju, električna oprema mora biti u stanju da funkcioniše bez emitovanja smetnji za druge uređaje u blizini, kao i da bude imuna na elektromagnetske smetnje koje dolaze od drugih uređaja. Postoji veći broj različitih standarda gde je podela izvršena upravo prema tome da li uređaj predstavlja *izvor* (emisija) ili *žrtvu* elektromagnetskih smetnji (imunost), a osnovni standardi prema kojima se vrše testiranja opreme su EN 55015 (emisija) i EN 61547 (imunost) – Tabela 1 (važno je napomenuti da je standard CISPR 15 iz tabele 3 identičan standardu EN 55015).

Pored elektromagnetskih smetnji koje sa javljaju u radio-frekventnom opsegu, emisija EMI može nastati usled prisustva viših harmonika struje, promena napona, fluktuacija napona i flikera (treperenja) u u javnim sistemima niskonaponskog napajanja (EN 61000-3-x). Takođe treba ispitati i imunost uređaja na elektrostatičko pražnjenje, zračenje, radiofrekvencijsko elektromagnetsko polje, električni brzi tranzijent/rafal, prenapone, magnetsko polje mrežne frekvencije i na propade napona, kratke prekide i varijacije napona (EN 61000-4-x).

Tabela 1. EMC standardi za svetlosnu opremu prema „CENELEC Guide 25“

Families of products	Standards covering the protection EMC requirements			
	Emission			Immunity s)
	Harmonics (see Note 1)	Voltage fluctuations (see Note 1)		
Household appliances and portable tools (motor-driven such as vacuum cleaners, washing machines etc; heating and cooking appliances, etc.)	EN 61000-3-2 or EN 61000-3-12	EN 61000-3-3 or EN 61000-3-11	EN 55014-1 (2)	EN 55014-2
Lighting equipment	EN 61000-3-2 or EN 61000-3-12	EN 61000-3-3 or EN 61000-3-11	EN 55015 (8)	EN 61547
TV receivers and audio equipment	EN 61000-3-2 or EN 61000-3-12	EN 61000-3-3 or EN 61000-3-11	EN 55013	EN 55020
Professional audio, video and entertainment lighting control equipment	EN 55103-1 (refers to EN 61000-3-2)	EN 55103-1 (refers to EN 61000-3-3)	EN 55103-1	EN 55103-2
Information Technology (IT) equipment	EN 61000-3-2 or EN 61000-3-12	EN 61000-3-3 or EN 61000-3-11	EN 55022	EN 55024

Standard EN 55015 definiše 3 frekventna opsega: 1) *Conducted emission* 9 kHz – 30 MHz, 2) *Radiated emission* 9 kHz – 30 MHz i 3) *Radiated emission* 30 MHz – 300 MHz.

Elektromagnetska kompatibilnost LED svetiljki

LED izvori svetlosti predstavljaju najpopularniju tehnologiju današnjice i sve su više prisutni u svim segmentima spoljnog i unutrašnjeg osvetljenja. Za pravilan rad LED izvora svetlosti, u električnom kolu LED svetiljki potrebni su tzv. „drajveri” - AC/DC pretvarači koji obezbeđuju konstantnu DC struju (ili napon) za rad LED čipova u širokom opsegu ulaznog AC i izlaznog DC napona. Međutim, kao i kod svih savremenih prekidačkih izvora napajanja (SMPS – Switch Mode Power Supply) koji se koriste za svaki elektronski ili IT uređaj (računar, mobilni telefon,...), i kod LED drajvera su izraženi problemi elektromagnetske interferencije (čak i ako postoji integriran blok za korekciju faktora snage). Samim tim, i svaka LED svetiljka je kao integriran sklop podložna istim problemima.

U standardu EN 61547:2012 (poglavlje 6.2 - Electronic lighting equipment) se kaže: „*For lighting equipment containing active electronic components which, for example, convert or regulate the operating voltage and/or the frequency of the light source, the requirements are given in Subclauses 6.3.2 to 6.3.4*“. U tabeli 2 je data lista standarda koji definišu testne procedure kojima LED svetiljke moraju biti podvrgnute da bi zadovoljile zahteve EMC. Interesantno je spomenuti da isti standard kaže da je sva svetlosna oprema koja ne sadrži aktivne elektronske komponente apriori usaglašena sa EMC zahtevima bez testiranja (HID svetiljke sa elektromagnetskom predspojnom opremom), što znači da pre pojave LED ova oblast nije bila od većeg značaja za ocenu kvaliteta svetiljki.

Tabela 2. Pregled relevantnih standarda za EMC testiranje LED svetiljki

Emission	
Requirement – Test	Frequency range
Radiated disturbance in the frequency range 9 kHz to 30 MHz	9 kHz to 30 MHz
Radiated disturbance in the frequency range 30 MHz to 300 MHz	30 MHz to 300 MHz
Terminal disturbance voltages in the frequency range 9 kHz to 30 MHz	9 kHz to 30 MHz
Insertion Loss	150 kHz to 1605 kHz
Harmonic current emissions	0 kHz – 2 kHz
Voltage changes, voltage fluctuations and flicker	-
Immunity	
Requirement - Test	Ref standard
Electrostatic discharges	EN 61000-4-2
Radio-frequency electromagnetic fields	EN 61000-4-3
Fast transients – Signal and control lines	EN 61000-4-4
Fast transients – I/O DC power ports	EN 61000-4-4
Fast transients – I/O AC power ports	EN 61000-4-4
Surges – Input AC power ports	EN 61000-4-5
Injected currents – Signal and control lines	EN 61000-4-6
Injected currents – I/O DC power ports	EN 61000-4-6
Injected currents – I/O AC power ports	EN 61000-4-6
Power frequency magnetic fields	EN 61000-4-8
Voltage dips – Input AC power ports	EN 61000-4-11
Voltage interruptions – Input AC power ports	EN 61000-4-11

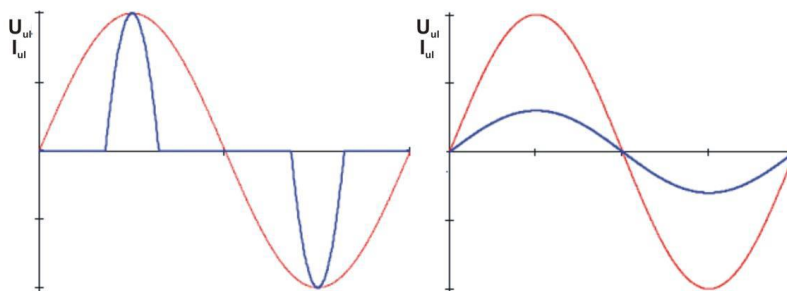
U delu tabele za ispitivanje emisija LED svetiljki nisu prikazani relevantni standardi, a oni su EN 55015 (prva četiri testa), EN 61000-3-2 (peti test) i EN 61000-3-3 (šesti test).

U daljem tekstu je dat kratak opis svake od električnih pojava koje mogu dovesti do nastanka elektromagnetskih smetnji, isključujući prethodno opisane koje pripadaju RF opsegu (EN 55015, EN 61000-4-3 i EN 61000-4-6).

Harmonici

Problem harmonijskih izobličenja je pokriven standardom **EN 61000-3-2**. Harmonici se odnose na struje i napone čije učestanosti predstavljaju celobrojne umnoške osnovne (mrežne) učestanosti (npr., treći harmonik ima učestanost od 150 Hz). Strujni harmonici nastaju usled nelinearnog opterećenja mreže koje proizvodi struju nesinusoidalnog talasnog oblika. Pasivna opterećenja (npr. inkandescentni izvori) nemaju harmonike, dok oprema koja se nalazi u prekidačkom režimu rada proizvodi harmonijska izobličenja. Sva pretvaračka kola svoj rad zasnivaju na tehnici impulsno-širinske modulacije (Pulse Width Modulation – PWM). LED drajveri (kao i sva SMPS prekidačka elektronika) imaju značajna harmonijska izobličenja usled prisustva diodnih mostova sa kondenzatorima koji stvaraju prekidnu struju (diskontinualni DCM režim rada - struja balasta (drajvera) jednaka je nuli u određenom delu prekidačkog ciklusa (na početku je nula, zatim dostiže maksimalnu vrednost i ponovo pada na nulu tokom svakog prekidačkog ciklusa). Pored izobličenja mrežnog napona, prisustvo harmonika može dovesti do pregrevanja provodnika usled površinskog (skin) efekta, induktivnih smetnji kod osetljive audio opreme, povećanja buke, vibracija i težih oštećenja kod indukcionih motora, kvarova na elektronskoj opremi, znatno većih (neželjenih) struja i sl.

Najčešće se kod kvalitetnih LED koji se koriste u spoljnom osvetljenju (posebno u instalacijama JO) koristi aktivni PFC blok za popravku faktora snage (slika 4). Problem sa prekidačkim uređajima nastupa prilikom dimovanja (tj. prilikom manjih opterećenja od nominalnih), a ovaj problem nije još uvek dobro pokriven standardima i stručnom literaturom. Aktivni PFC blok predstavlja najbolje rešenje za prekidačke uređaje, ali zahteva veću investiciju i skuplje uređaje koji sa zasnovani na 1-10 V ili PWM arhitekturama regulacije izlaznih veličina (struje, napona, svetlosnog fluksa i snage)



Slika 6. Tipičan talasni oblik ulazne struje bez (levo) i sa (desno) aktivnim PFC blokom

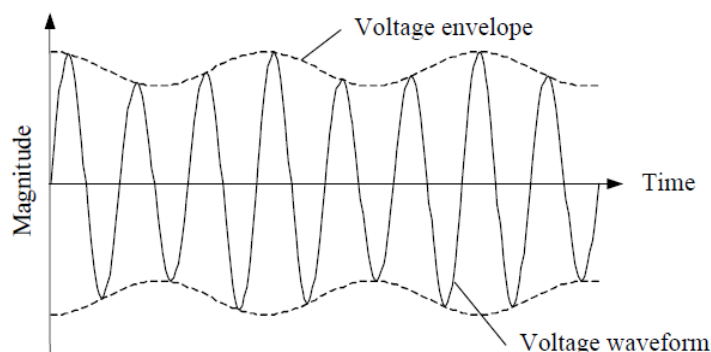
Može se konstatovati da je jedino rešenje za suzbijanje harmonijskih izobličenja i EMI kvalitetan dizajn LED drajvera (ne postoje dodatni uređaji koji bi rešili taj problem), a ključni problem je održanje visokog faktora snage ($PF > 0.9$) i prilikom dimovanja na niže vrednosti snage (svetlosnog fluksa).

Kao što je u prethodnim godinama strateška odluka najvećih proizvođača bila da nude manji broj tipova LED drajvera koji mogu raditi u širokom operativnom opsegu sa osrednjim performansama, novi globalni trend je da se nudi širok asortiman proizvoda uže primene, ali visokih performansi. U toku je razvoj novih LED drajvera namenjenih isključivo evropskom

tržištu kod svih većih proizvođača, a koji će raditi u uskom opsegu ulaznog napona 220-240 VAC. U tom slučaju, biće moguće održati visok faktor snage iznad 0.9 čak i do 20 % nominalne snage, a samim tim biće rešen i problem harmonijskih izbličenja i elektromagnetskih smetnji.

Fluktuacije napona i flikeri

Ova problematika je pokrivena standardom **EN 61000-3-3**. Kada se opterećenje (potrošač) konstantno uključuje i isključuje, doći će do fluktuacija mrežnog napona i promena koje ne mogu biti kompenzovane dovoljno brzo. Fluktuacije napona se mogu definisati kao periodične ili iznenadne varijacije mrežnog napona. Veličina ovih promena obično ne prelazi 10% nominalnog mrežnog napona. Iako ne utiču direktno na drugu opremu, ovakve fluktuacije mogu biti iritirajuće i neprijatne za posmatrača ukoliko se intenzitet svetlosti menja sa promenama (fluktuacijama) mrežnog napona. Subjektivni utisak takvih promena intenziteta svetlosti se naziva **fliker** (treperenje svetlosti). Iznad određenog nivo, fliker može biti uznemiravajući ili čak opasan po zdravlje ljudi.



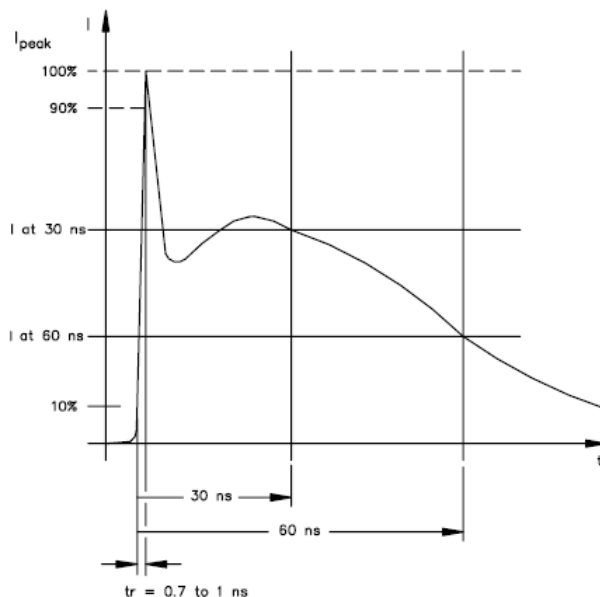
Slika 7. Talasni oblik fluktuirajućeg napona

Testiranja su pokazala da je ljudsko oko najosetljivije na talasnu modulaciju mrežnog napona na frekvencijama od 6-8Hz. Da bi se izbegli ovi problemi, promene napona usled rada bilo kakve opreme moraju se ograničiti, ili se oprema mora postaviti na takav način da promene napona ne dovedu do treperenja svetlosti. Sva oprema sa tajmerima ili termostata koji izazivaju česte promene opterećenja, će takođe dovesti da promena napona i fluktuacija. U takvu opremu spadaju fotokopir mašine, laserski štampači, grejalice, klima uređaji, elektrolučne peći i zavarivači, ciklični motorni pogoni i sl. Pored neprijatnog treperenja svetlosti, fluktuacije napona mogu dovesti do neželjenih okidanja releja, ispada elektronske opreme i smetnji u radu komunikacione opreme.

Elektrostatičko pražnjenje (ESD)

Ova problematika je pokrivena standardom **EN 61000-4-2**. Elektrostatičko pražnjenje je jedna od najčešćih tranzijentnih pojava i predstavlja protok (kretanje) naelektrisanja izazvano direktnim kontaktom, kratkim spojem ili dielektričnim probojem. Sva provodna tela imaju određenu kapacitivnost u odnosu na zemlju ili međusobnu kapacitivnost u odnosu na druga tela. Ukoliko je telo dobro izolovano (veliki otpor prema zemlji), ono zadržava određeno statičko (DC) naelektrisanje (potencijal) u odnosu na zemlju. U kontaktu sa drugim telom na različitom električnom potencijalu, dolazi do elektrostatičkog pražnjenja, tj. kretanja naelektrisanja sve dok između njih postoji razlika u potencijalu, tj. dok se dođe do

izjednačavanja potencijala (količine naelektrisanja) oba tela (zato je važno da u svakom objektu postoji dobro uzemljenje). Tipično, ova razlika potencijala može iznositi od 2 - 8 kV.

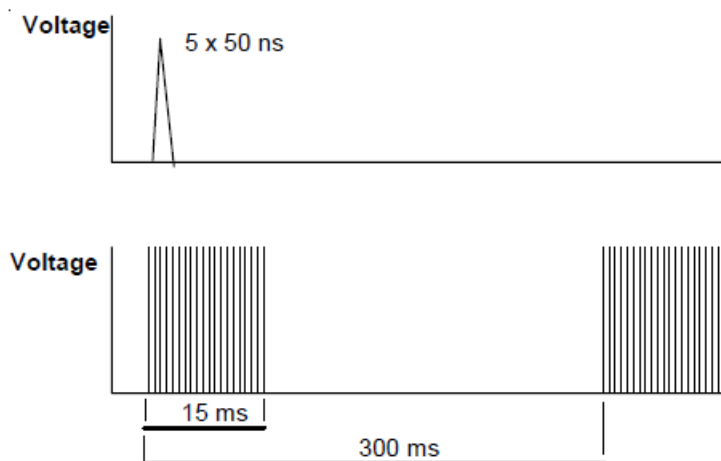


Slika 8. Talasni oblik struje elektrostatičkog pražnjenja

Prilikom elektrostatičkog pražnjenja dolazi do pojave tranzijentnih napona $v(t)$ i struja $i(t)$, što može dovesti do kvara u digitalnim kolima koja reaguju na ove indukovane impulse. Ispitivanje elektrostatičkog pražnjenja se obično izvodi sa piezo spark generatorima (ESD pištolj). Elektrostatičko pražnjenje najčešće izazivaju ljudi, a zaštita elektrostatički osetljivih komponenti i uređaja se izvodi u statički sigurnom području, korišćenjem antistatičkih obloga za pod i radni sto, korišćenjem antistatičkih kutija i ambalaža, uzemljenjem operatora (uzemljene narukvice...). Prevencije radi, prilikom rukovanja sa ovakvom opremom nije z goreg dodirnuti metalni uzemljeni predmet da bi se uklonilo bilo kakvo statičko naelektrisanje koje je telo možda akumuliralo tokom radnog procesa.

Električni brzi tranzijent (EFT)/rafal

Ova problematika je pokrivena standardom **EN 61000-4-4**. Električni brzi tranzijent (electrical fast transient/burst) se javlja kao rezultat pojave električnog luka između kontakata prekidača i releja. U trenutku isključenja električnog kola (otvaranja prekidača) dolazi do pojave visokog trenutnog napona između otvorenih kontakata prekidača, Ovaj visoki napon dovodi do električnog proboja u malom vazдушnom procepu između kontakata, što dalje dovodi do nestanka naponskog pika (gašenja luka) i ponovnog protoka struje. Gašenje luka ponovo dovodi do prekida strujnog toka, ponovnog naponskog pika koji dovodi do novog električnog proboja i stvaranja luka, i tako u krug. Ovaj proces se ponavlja sve dok vazdušni procep između kontakata ne postane dovoljno veliki da ne dođe do električnog proboja, kada se može reći da je električno kolo potpuno isključeno. Vidljivi efekat je kratkotrajna varnica između kontakata koja se zapravo sastoji od većeg broja (rafala) mikrovarnica, gde frekvencija ponavljanja i amplituda zavise od karakteristika električnog kola i prekidača – tipično se uzima da je ova frekvencija u opsegu 2–5 kHz, a dužina rafala je 15 ms sa ponavljanjem na svakih 300 ms (slika 9).

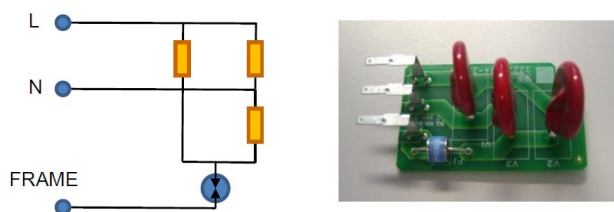


Slika 9. Talasni oblik napona brzog tranzijenta prema standardu EN 61000-4-4

EFT smetnje su uobičajena pojava u industrijskim postrojenjima gde se elektromehanički prekidači koriste za priključenje/isključenje induktivnih opterećenja. Ove smetnje se mogu javiti i u energetske i u komunikacionim vodovima. Pošto su u pitanju visokofrekventni impulsi, ove smetnje se najčešće (ne i uvek) mogu otkloniti EMI filterima ili kvalitetnim uzemljenjem ekrana na svim elektronskim komponentama.

Naponski udari

Ova problematika je pokrivena standardom **EN 61000-4-5**. Budući da je rad na temu prenaponske zaštite prezentovan na prošlogodišnjem Savetovanju na Zlatiboru, daće se samo osnovne informacije o naponskim udarima. Pod prenaponom se podrazumeva bilo koje povećanje napona između dve tačke koje stvara električno polje između njih tako da ono može biti opasno po oštećenje izolacije. Prenapon predstavlja napon između faznog provodnika i zemlje ili između faza, čija temena vrednost prelazi odgovarajuću temenu vrednost najvišeg napona opreme (najviša dozvoljena vrednost radnog napona koja sme da se pojavi u normalnom pogonu u mreži). Pošto je deo električne mreže iz kojeg se napaja instalacija javnog osvetljenja najčešće nezavisan i razdvojen od ostalih potrošača (tzv. „dedicated grid“), atmosferski prenaponi predstavljaju najčešći problem za instalacije sa LED svetiljkama. Uređaji prenaponske zaštite (odvodnici prenapona) su uređaji koji sadrže nelinearne otpornike vezane prema zemlji, i koji pri nailasku prenaponskog talasa smanjuju otpornost odvođeći deo energije u zemlju. Kada prenaponski talas prođe, ovi uređaji ponovo povećavaju svoju otpornost (impedansu) na prvobitnu vrednost. Idealna prenaponska zaštita je kombinacija metal-oksidnog varistora (MOV) i katodnog odvodnika prenapona (GDT) (spoj brzine reagovanja MOV-a i efikasnog odvođenja energije i kontrole struje GDT-a), a ovakav hibridni odvodnik prenapona je zaštitni uređaj koji se najčešće koristi u LED svetiljkama.



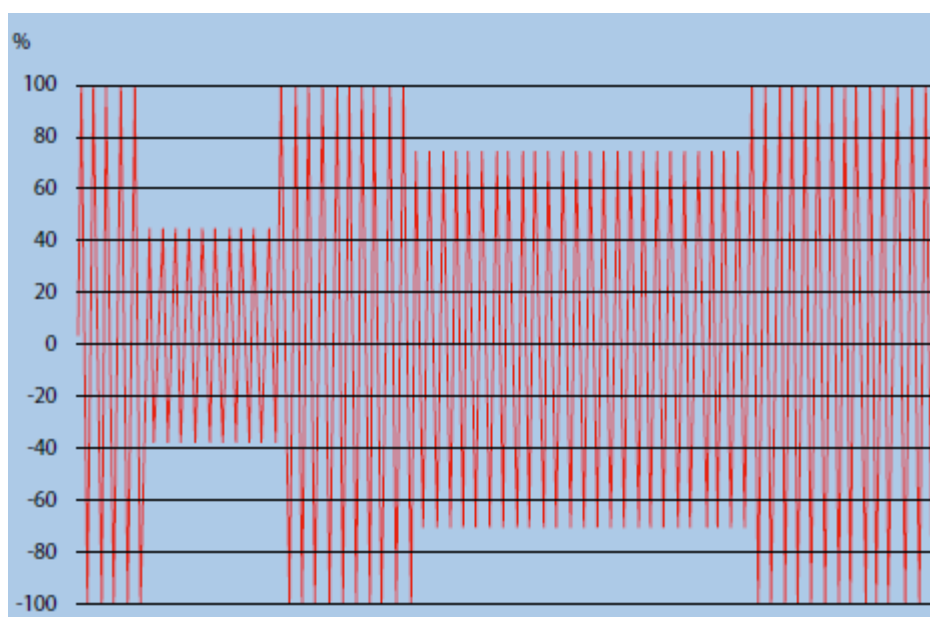
Slika 10. Električno kolo i izgled hibridne prenaponske zaštite

Magnetsko polje mrežne frekvencije

Ova problematika je pokrivena standardom **EN 61000-4-8**. Magnetska polja se javljaju kao posledica priključenja provodnika na AC električnu mrežu, kao posledica protoka struje kroz provodnik. Frekvencija polja odgovara mrežnoj frekvenciji od 50 Hz (Evropa). Magnetska polja su uvek prisutna oko provodnika kroz koje protiče bilo koja struja, a njihova jačina (i do 100 A/m) je direktno proporcionalna veličini struje. Jaka magnetska polja se javljaju u blizini motora, generatora i sve druge opreme velike snage. Ipak, magnetska polja utiču samo na pojedinu električnu opremu (katodne cevi, uređaji zasnovani na Holovom efektu), pa nije od značaja za LED tehnologiju.

Propadi napona, kratke prekide i varijacije napona

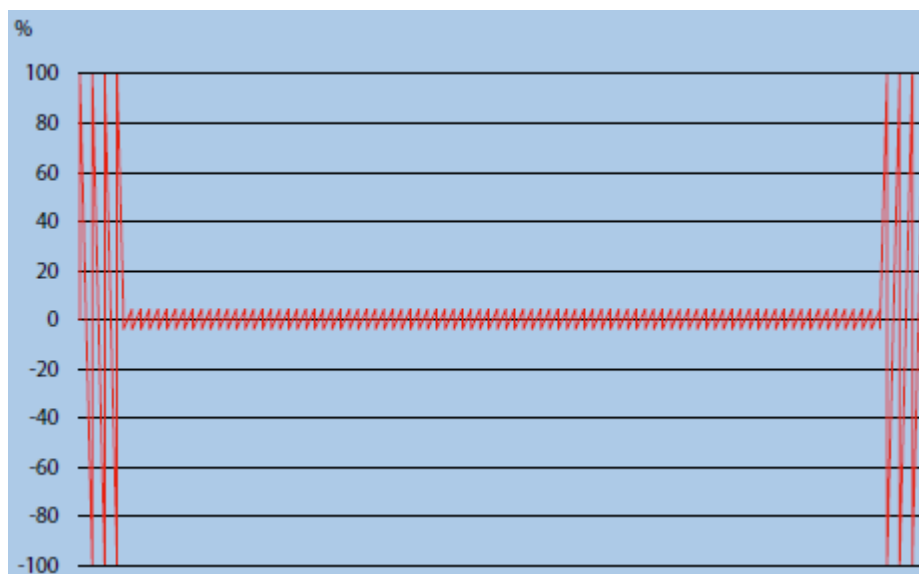
Ova problematika je pokrivena standardom **EN 61000-4-11**. Propadi napona (voltage dips, slika 11) su smetnje u mrežnom napajanju, u opsegu od konstantnih ponavljajućih varijacija napona do iznenadnih propada ili potpunog isključenja. Ovakva izobličenja snage mogu ozbiljno oštetiti drugu opremu (kratki propadi utiču na procesore, dok kompletno isključenje može resetovati osetljivu elektronsku opremu koja zatim startuje u nebezbednim uslovima). Propadi napona su kratkotrajne promene mrežnog napona to određene granice (npr. napon može pasti do 50 % nominalne vrednosti). Trajanje takvog propada napona može biti između polovine periode mrežne frekvencije do nekoliko sekundi (obično u donjem delu tog opsega).



Slika 11. Primer propada napona

Kratki prekidi su zapravo propadi napona do 0 % (slika 12). Trajanje takvih prekida može biti nekoliko sekundi, obično ne više od 1 minuta.

Propadi i varijacije napona su uobičajeni kako u industrijskim, tako i u rezidencijalnim oblastima. U najvećem broju slučajeva, električno kolo opreme ili mrežna instalacija mogu kompenzovati takve smetnje. Kratki prekidi (slika 12) obično dovode do gubitka performansi električne opreme, te se mora obezbediti da se nakon nestanka prekida električna oprema bezbedno isključi i ne restartuje u nebezbednim uslovima.



Slika 12. Primer kratkih prekida napona

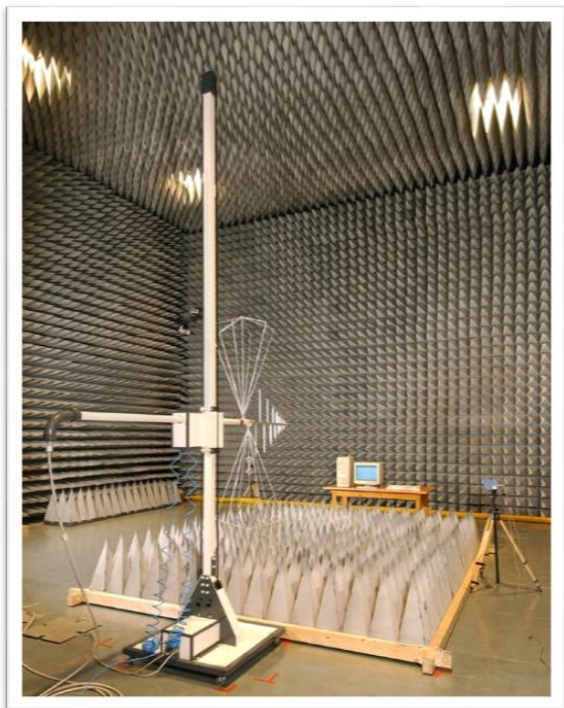
Za potrebe testiranja koristi se generator sposoban da obezbedi konstantne struje na nivoima 100/70/40 % mrežnog napona, a da pri mrežnom naponu od 230 V prekine (spusti) napon za 1-5 μ s istovremeno podneviši udarnu struju od 500 A. Ovi zahtevi se smatraju teškim, a najveći broj postojeće testne opreme nije usaglašen sa ovim zahtevom standarda.

Pored pobrojanih standarda, prema zahtevima Direktive za niski napon 2006/95/EC, LED svetiljke moraju biti usaglašene sa standardom koji se bavi izloženosti ljudi elektromagnetskim poljima (EMF) u frekventnom opsegu do 300 GHz. Prema aneksu H u preporuci EN 62493:2016 („*Assessment of lighting equipment related to human exposure to electromagnetic field*“), ogromna većina LED svetiljki apriori ispunjava zahteve ovog standarda, te ne postoji potreba za testiranjem. Obimno terensko istraživanje koje su sproveli VDE institut za testiranje i sertifikaciju, ZWEI institut i Asocijacija proizvođača električne i elektronske opreme Nemačke, dalo je iste rezultate. Zaključci ovog istraživanja su objavljeni u tehničkom izveštaju „*IEC/TR 62493-1 on IEC 62493: Assessment of Lighting Equipment Related to Human Exposure to Electromagnetic Fields Results of the EMF Measurement Campaign from the VDE Test and Certification Institute and the ZVEI, the German Electrical and Electronic Manufacturers' Association*“.

EMC testiranje

Da bi se ustanovilo da određeni uređaj zadovoljava potrebne standarde, neophodno je testiranje elektromagnetske kompatibilnosti. Vrš se posebna testiranja za emisiju i imunost uređaja na EMI. Testiranje u RF opsegu se najčešće obavlja u radio-frekvencijskim anehoičkim sobama (bez RF odjeka), odnosno komorama (slika 13a). Testiranje je moguće izvršiti i u realnim terenskim uslovima (svetiljka na stubu) jer postoje i anehoične sobe takvih dimenzija (slika 13b). U ovim sobama se generiše RF polje slično onome koje se može javiti u realnom okruženju, a ispituju se elektromagnetske smetnje u opsegu 150 kHz do 1 GHz.

Ispitivanje imunosti zahteva velike snage izvora koji generišu impulse u RF opsegu zračenja, kao i antena koje usmeravaju energiju na uređaje (žrtve) koji se testiraju. Testiranje imunosti u provodnom RF opsegu obično podrazumeva signale velike snage obično generisane pulsnim generatorima.

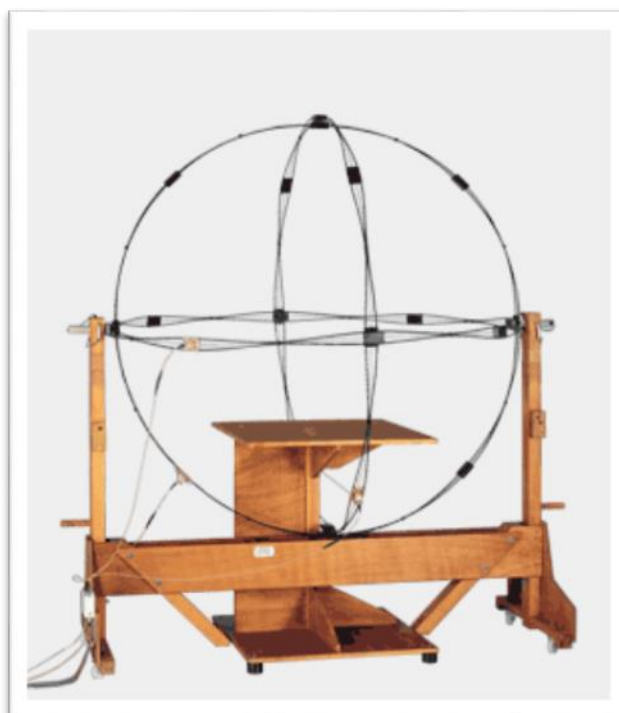


Slika 13a. Anehoična soba



Slika 13b. Anehoična soba za merenje na stubu

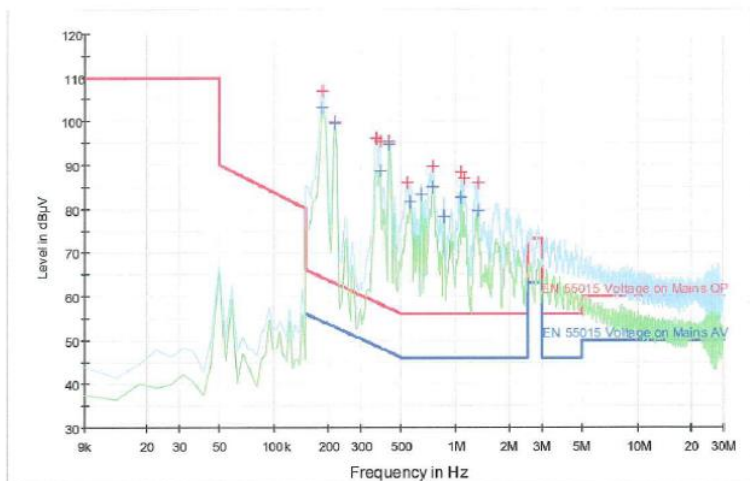
Emisije se obično mere za zračene RF opseg, a gde je to potrebno za provodni RF opseg (kablovi i provodnici). Za merenje emisija se obično koristi analizator spektra u širokom opsegu frekvencija (specijalizovani analizatori spektra se nazivaju i EMI analizatori). Za merenje emisija u donjem delu RF opsega (9 kHz do 150 kHz) koristi se (iako ne na raspolaganju u svim laboratorijama) Van Veen-ova magnetska žičana petlja-antena (“loop” antena, slika 14).



Slika 14. Van Veen-ova “petlja” antena

Mere zaštite

Ukoliko emisije EMI u provodnom delu RF opsega (slika 15a) nisu usaglašene sa zahtevima standarda, jedno od mogućih rešenja je da se u električno kolo svetiljke doda EMI filter (slika 15b). Ovo nije idealno rešenje jer je EMI filter skup, pa je zato bolje rešenje izabrati kvalitetan LED drajver koji u potpunosti usaglašen sa zahtevima standarda.

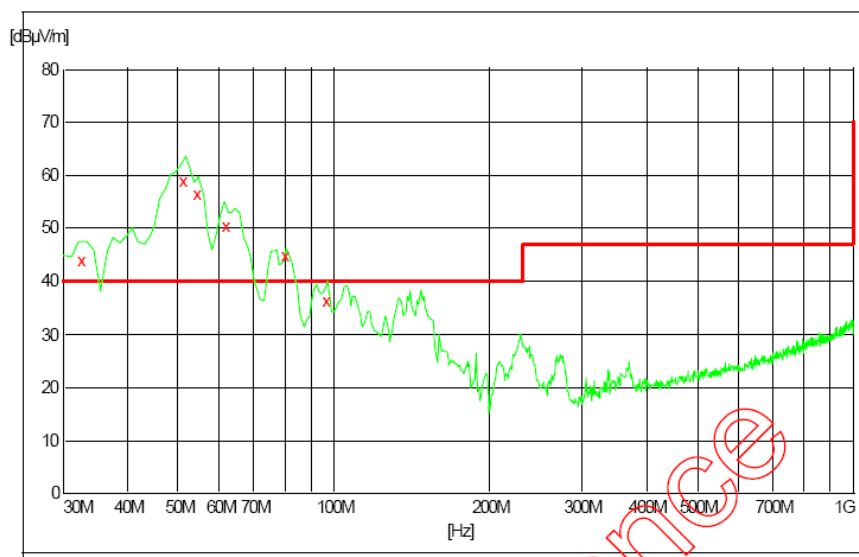


Slika 15a. Rezultati testiranja emisija u RF opsegu 9 kHz – 30 MHz



Slika 15b. EMI filter

Ukoliko se žele izbeći neželjene emisije i obezbediti imunost LED svetiljke na EMI probleme u zračenom RF opsegu (od 30 MHz pa do 1GHz, slika 16a), u električno kolo LED svetiljke mogu se dodati dodatni filteri ili feritna jezgra (slika 16b). I u ovom slučaju se preferira izbor kvalitetnog LED drajvera koji u potpunosti usaglašen sa zahtevima standarda.



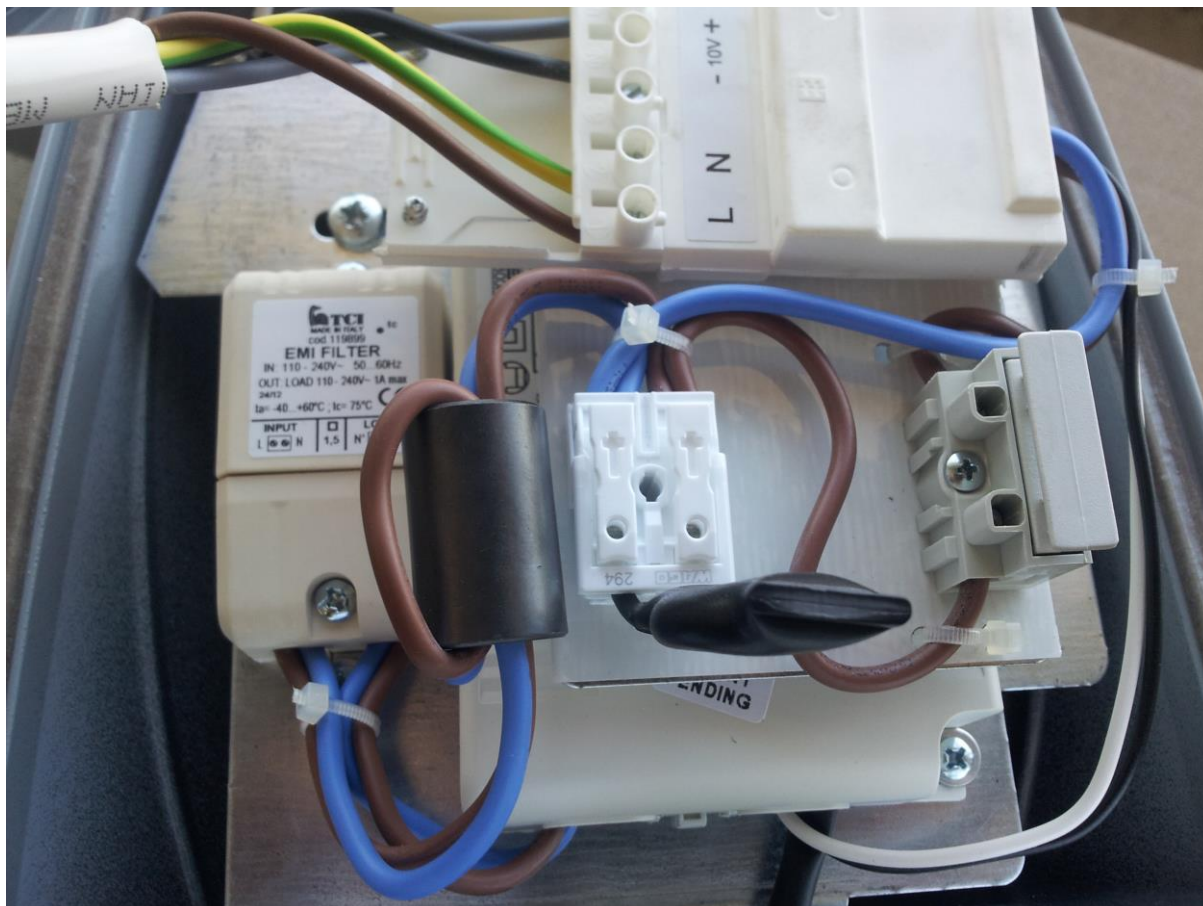
Slika 16a. Rezultati testiranja emisija u RF opsegu 30 MHz – 1 GHz



Slika 15b. Feritna jezgra

Kada je reč o harmonicima, njihovo prekomerno prisustvo ukazuje na loš kvalitet LED drajvera i jedino rešenje predstavlja izbor kvalitetnog LED drajvera koji u potpunosti usaglašen sa zahtevima standarda!

Na slici 17 prikazano je električno kolo LED svetiljke u koje su dodati EMI filter zbog potencijalnih EMI u provodnom RF opsegu (9 kHz do 30 MHz) i feritno jezgro zbog potencijalnih EMI problema u zračenom RF opsegu (30 MHz do najčešće 1 GHz). Na istoj slici može se videti i metal-oksidni varistor (MOV) kao zaštita od prenapona.



Slika 17. LED svetiljka sa EMI filterom i feritnim jezgrom

Relevantni standardi i preporuke

Da bi se napravio optimalan izbor tipa LED svetiljke koja zadovoljava uslove elektromagnetske kompatibilnosti, neophodno je poznavati određene standarde iz ove oblasti koji definišu relevantne karakteristike i kvalitet LED svetiljke. Takođe, od izuzetnog značaja za investitora je da svaki proizvođač (ponuđač) svetiljki dostavi odgovarajuće testne izveštaje kojima se dokazuje zadovoljenost svih uslova za EMC prema odgovarajućim standardima.

Specijalni međunarodni komitet za radio smetnje ili CISPR (Comité International Spécial des Perturbations Radioélectriques") je komitet Međunarodne elektrotehničke komisije (IEC) koji definiše međunarodne standarde u oblasti zračene (radijacione) i provodne (kondukcione) EMI. Ovi standardi su usaglašeni sa evropskim standardima i pobrojani su u listi ispod pod drugim (EN) oznakama.

Institut za standardizaciju Srbije je objavio set standarda koji se bave problematikom elektromagnetske kompatibilnosti. Spisak relevantnih standarda je dat na srpskom i engleskom jeziku:

EMISIJA

SRPS EN 55015:2014, „Granice i metode merenja karakteristika radio-smetnji kod električnih svetiljki i sličnih uređaja”

EN 55015:2014, „Limits and methods of measurement of radio disturbance characteristics of electrical lighting and similar equipment“

SRPS EN 61000-3-2:2014, „Elektromagnetska kompatibilnost (EMC) - Deo 3-2: Granice - Granice za emisije harmonika struje (ulazna struja uređaja ≤ 16 A po fazi) „

EN 61000-3-2:2014, „Electromagnetic compatibility (EMC) -- Part 3-2: Limits - Limits for harmonic current emissions (equipment input current ≤ 16 A per phase)“

SRPS EN 61000-3-3:2014, „Elektromagnetska kompatibilnost (EMC) - Deo 3-3: Granice - Ograničavanje promena napona, fluktuacija napona i flikera u javnim sistemima niskonaponskog napajanja, za uređaje čija je naznačena struja ≤ 16 A po fazi i koji ne podležu uslovljenom priključivanju“

EN 61000-3-3:2014, „Electromagnetic compatibility (EMC) -- Part 3-3: Limits - Limitation of voltage changes, voltage fluctuations and flicker in public low-voltage supply systems, for equipment with rated current ≤ 16 A per phase and not subject to conditional connection“

IMUNOST

SRPS EN 61547:2012, „Oprema za osvetljenje opšte namene - Zahtevi za imunost sa aspekta elektromagnetske kompatibilnosti“

EN 61547:2012, „Equipment for general lighting purposes - EMC immunity requirements“

SRPS EN 61000-4-2:2009, „Elektromagnetska kompatibilnost (EMC) - Deo 4-2: Tehnike ispitivanja i merenja - Ispitivanje imunosti na elektrostatičko pražnjenje“

EN 61000-4-2:2009, „Electromagnetic compatibility (EMC) -- Part 4-2: Testing and measurement techniques - Electrostatic discharge immunity test“

SRPS EN 61000-4-3:2008, „Elektromagnetska kompatibilnost (EMC) - Deo 4-3: Tehnike ispitivanja i merenja - Ispitivanje imunosti na zračeno, radiofrekvencijsko elektromagnetsko polje“

EN 61000-4-3:2008, „Electromagnetic compatibility (EMC) -- Part 4-3: Testing and measurement techniques - Radiated, radio-frequency, electromagnetic field immunity test“

SRPS EN 61000-4-4:2013, „Elektromagnetska kompatibilnost (EMC) - Deo 4-4: Tehnike ispitivanja i merenja - Ispitivanje imunosti na električni brzi tranzijent/rafal“

EN 61000-4-4:2013, „Electromagnetic compatibility (EMC) -- Part 4-4: Testing and measurement techniques - Electrical fast transient/burst immunity test“

SRPS EN 61000-4-5:2014, „Elektromagnetska kompatibilnost (EMC) — Deo 4-5: Tehnike ispitivanja i merenja — Ispitivanje imunosti prema naponskim udarima“

EN 61000-4-5:2014, „Electromagnetic compatibility (EMC) - Part 4-5: Testing and measurement techniques - Surge immunity test“

SRPS EN 61000-4-6:2014, „Elektromagnetska kompatibilnost (EMC) — Deo 4-6: Tehnike ispitivanja i merenja — Imunost na kondukционе smetnje indukovane radiofrekvencijskim poljima“

EN 61000-4-6:2014, „Electromagnetic compatibility (EMC) -- Part 4-6: Testing and measurement techniques - Immunity to conducted disturbances, induced by radio-frequency fields“

SRPS EN 61000-4-8:2012, „Elektromagnetska kompatibilnost (EMC) — Deo 4-8: Tehnike ispitivanja i merenja — Ispitivanje imunosti na magnetsko polje mrežne frekvencije“

EN 61000-4-8:2012, „Electromagnetic compatibility (EMC) -- Part 4-8: Testing and measurement techniques - Power frequency magnetic field immunity test“

SRPS EN 61000-4-11:2008, „Elektromagnetska kompatibilnost (EMC) - Deo 4-11: Tehnike ispitivanja i merenja - Ispitivanje imunosti na propade napona, kratke prekide i varijacije napona“

EN 61000-4-11:2008, „Electromagnetic compatibility (EMC) -- Part 4-11: Testing and measurement techniques - Voltage dips, short interruptions and voltage variations immunity tests“

IZLOŽENOST LJUDI

SRPS EN 62493:2016, „Ocenjivanje opreme za osvetljenje u odnosu na izloženost ljudi elektromagnetskim poljima“

EN 62493:2016, „Assessment of lighting equipment related to human exposure to electromagnetic field“

Literatura

1. „Basics in EMC / EMI and Power Quality: Introduction, Annotations, Applications”, Shaffner brošura, 2013.
2. CENELEC Guide 25, „Guide on the use of standards for the implementation of the EMC Directive to apparatus“, Edition 3, 2009-12
3. „Electromagnetic compatibility“, Schredér internal PPT, FAE meeting, Nov. 2009.
4. „Transient Immunity standards“, TVS diode application note, SEMTECH, 1996.
5. EN 61547, „Equipment for general lighting purposes - EMC immunity requirements“, CENELEC, 2009.
6. „Pravilnik o elektromagnetskoj kompatibilnosti“. Službeni Glasnik RS, br. 13, 2010.
7. IEC/TR 62493-1 on IEC 62493: „Assessment of Lighting Equipment Related to Human Exposure to Electromagnetic: Fields Results of the EMF Measurement Campaign from the VDE Test and Certification Institute and the ZVEI, the German Electrical and Electronic Manufacturers' Association“, Technical report, IEC, 2013.
8. S. Winder, „Power supplies for LED lighting – EMI and EMC issues“, Newnes, 2011.
9. https://en.wikipedia.org/wiki/Electromagnetic_compatibility
10. https://en.wikipedia.org/wiki/Electromagnetic_interference
11. „Electromagnetic Compatibility“, CVEL – The Clemson University Vehicular Electronics laboratory, <http://www.cvel.clemson.edu/emc/>, 2016.
12. „Voltage fluctuations in electric supply system“, University of Wollongong, Technical Note No. 7, <http://www.elec.uow.edu.au/apqrc/content/technotes/technote7.pdf>, 2003.