

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

## PRENAPONSKA ZAŠTITA U INSTALACIJAMA SA LED SVETILJKAMA

### Uvod

*Većina starijih svetiljki sa HID svetlosnim izvorima (fluo cevi, živini izvori, metal-halogeni izvori, natrijumovi izvori visokog pritiska...) sadrži u svom električnom kolu elektromagnetski balast, a samim tim je skoro potpuno neosetljiva na prisustvo prenapona u mreži. Zahvaljujući velikoj induktivnosti namotaja elektromagnetskog balasta povezanog redno sa izvorom svetlosti, on je u stanju da suzbije (apsorbuje) različite tranzijentne poremećaje u električnoj mreži (prenapone, harmonike...). Na drugu stranu, kada se u električnom kolu svetiljke nalazi prekidačka elektronika (elektronski balasti kod HID izvora i drajveri kod LED izvora), ovakve svetiljke su mnogo podložnije uticajima prenapona. Može se reći da su upravo prenaponi jedan od najčešćih uzroka kvara LED drajvera. U okviru rada je analiziran uticaj prenapona na LED svetiljke, dat je presek standarda ili preporuka vezanih za prenaponsku zaštitu i prikazani su neki od najčešće korišćenih tipova uređaja koji se mogu naći u LED svetiljkama renomiranih proizvođača.*

### Prenaponi

Prema standardnoj definiciji Međunarodne elektrotehničke komisije (IEC), 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).

Prenaponi se prema uzroku nastanka mogu podeliti na dva osnovna tipa:

- spoljašnji ili atmosferski prenaponi
- unutrašnji prenaponi

***Spoljašnji ili atmosferski prenaponi*** nastaju usled atmosferskih pražnjenja (udara groma) u elemente elektroenergetskih objekata, ili u njihovoj blizini. Pri direktnim atmosferskim pražnjenjima u elemente elektroenergetskog sistema pojavljuju se vrlo velike struje koje izazivaju visoke napone na elementima, a od kojih se oprema u postrojenjima mora štititi. U slučaju atmosferskog pražnjenja u blizini elektroenergetskog objekta dolazi do indukovanja prenapona koji mogu biti opasni u mrežama srednjeg i niskog napona. Visina atmosferskih prenapona zavisi od energije atmosferskog pražnjenja, mada se primena odgovarajućih zaštitnih mera ograničava na niže vrednosti. Atmosferski prenaponi mogu dostići naponske nivoe i od nekoliko desetina kV i traju veoma kratko (tipično između 50 $\mu$ s i 100 $\mu$ s). U slučaju direktnog pražnjenja u zemlju („Cloud to Ground Lightning Strike“), napon može dostići i do nekoliko miliona volta, pri čemu se visok indukovani napon (u npr. podzemnim kablovima javnog osvetljenja) može javiti i na udaljenosti od čak 100m od mesta udara (prema nekim izvorima i značajno više, čak i do nekoliko km). Neposredno pre udara groma, u radijusu od

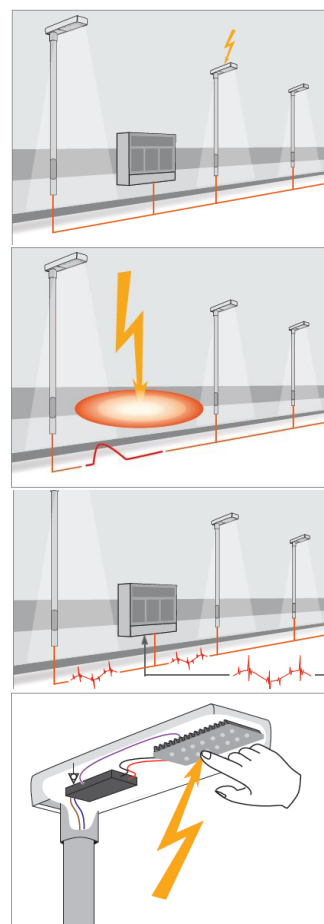
100m od mesta udara može se generisati električno polje jačine do 500kV/m, što dovodi do indukovanja struja koje mogu oštetiti provodnike i uređaje u svetiljkama. Atmosferski prenaponi mogu dovesti do smanjenja životnog veka ili direktnog uništenja (kompletnog ili delimičnog) LED modula ili LED drajvera.

**Unutrašnji prenaponi** nastaju usled poremećaja u samom sistemu, a prema uzroku se dele na sklopne ili komutacione (nastale radom rasklopne opreme – uključanja/isključanja delova mreže) i privremene ili povremene prenapone (prenaponi pri nesimetričnom pogonu (nesimetrični kvarovi ili nesimetrični prekid napajanja u trofaznim mrežama - zemljospoj), rezonantni ili ferorezonantni prenaponi, prenaponi usled naglog rasterećenja). Privremeni prenaponi (TOV – temporary overvoltages) imaju duže trajanje od atmosferskih i sklopnih prenapona, čak i do nekoliko sati. Obično nisu mnogo viši od najvišeg napona mreže (najčešće oko 10%) i najčešće nastaju usled problema u napajanju ili prekida (loše veze) neutralnog provodnika. Ovi prenaponi, iako niže amplitude od atmosferskih prenapona, usled dužeg trajanja lakše mogu da izazovu probleme u radu pojedinih uređaja (odvodnika prenapona) i da dovedu do ubrzanog starenja LED izvora.

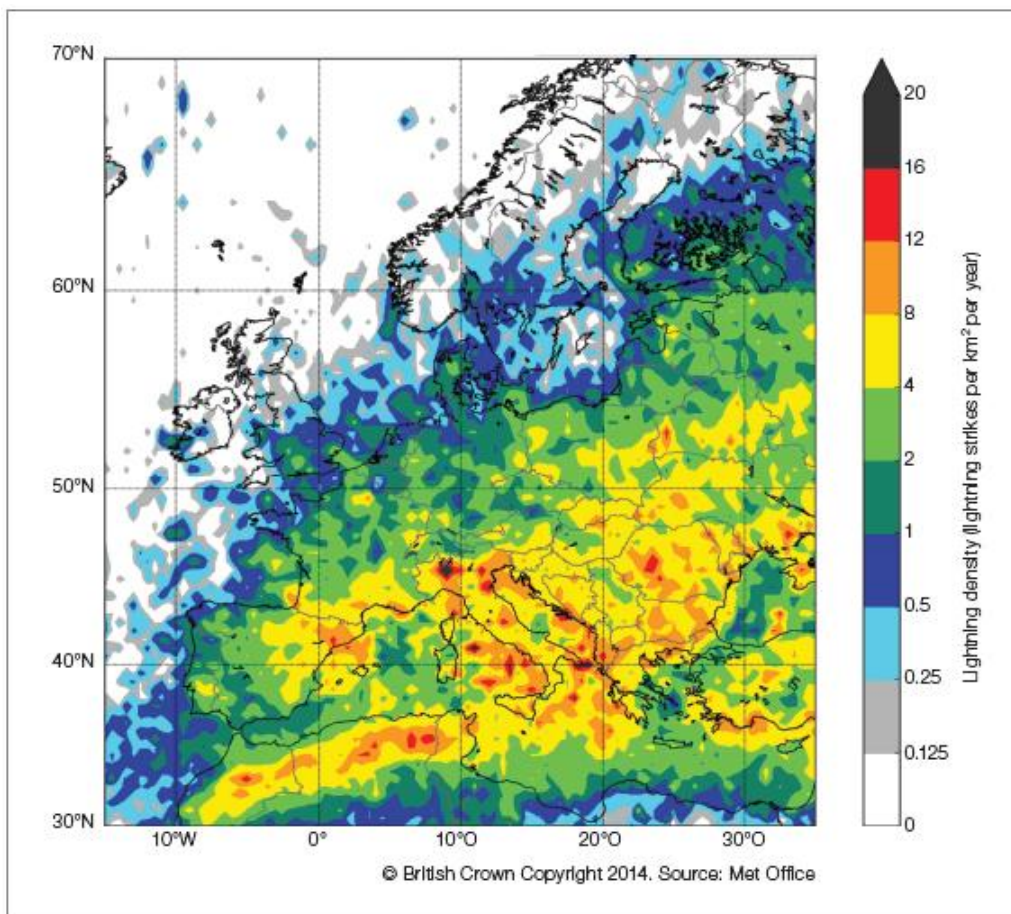
*Pošto je deo električne mreže iz kojeg se napaja instalacija javnog osvetljenja najčešće nezavisan i razdvojen od ostalih potrošača (tzv. „dedicated grid“), atmosferski prenaponi predstavljaju najčešći problem za instalacije sa LED svetiljkama.*

Konkretno, ako se analizira isključivo instalacija javnog osvetljenja, može se konstatovati da prenaponi na LED svetiljkama nastaju najčešće iz 4 razloga:

- Direktnan udar groma u svetiljku ili napojnu liniju – velika energija atmosferskog pražnjenja koju je gotovo nemoguće odvesti sa svetiljke, što dovodi do njenog uništenja.
- Udar groma u blizini svetiljke – u zavisnosti od udaljenosti svetiljke od mesta udara, generišu se prenaponi i do 10 kV usled induktivne ili kapacitivne sprege.
- Sklopne manipulacije (uključanja/isključanja) i promene opterećenja u energetske mreži – generišu prenapone i do 6 kV i javljaju se češće od atmosferskih prenapona (i do nekoliko desetina puta godišnje).
- Prenaponi usled elektrostatickog pražnjenja – najčešće se javljaju prilikom održavanja svetiljki ukoliko nisu sprovedene zaštitne mere.



Na slici 1 data je izokeraunička karta Evrope prema gustini udara groma (broj udara po km<sup>2</sup> godišnje). Može se videti da je prosečna gustina udara groma u većem delu Srbije između 4 i 8 udara/m<sup>2</sup> godišnje, dok je u većem delu Vojvodine i delu Šumadije ova gustina manja i iznosi između 2 i 4 udara/m<sup>2</sup> godišnje. Moglo bi se zaključiti da je broj udara groma u Srbiji u granicama ili nešto malo iznad evropskog proseka. Broj udara groma se naročito povećava u toplim letnjim mesecima.



Slika 1. Izokeraunička karta Evrope

## Prenaponska zaštita

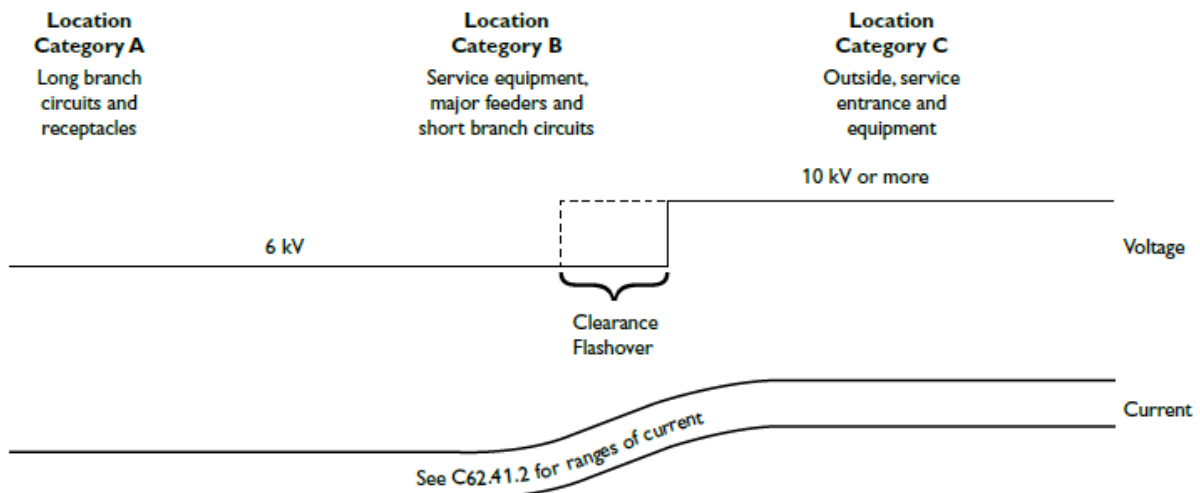
Prenaponska zaštita na niskom naponu se sprovodi primenom principa koordinacije izolacije (ograničavanja prenapona), što zapravo obuhvata izbor elektroizolacionih karakteristika nekog uređaja u zavisnosti od načina i mesta njegove upotrebe.

Postoje dva načina ograničavanja prenapona:

- *Sopstveno ograničenje električnog sistema:* zbog karakteristika samog sistema može se usvojiti da će visine očekivanih tranzijentnih prenapona ostati ispod jedne jasno određene granice.
- *Zaštitno ograničenje:* zbog primene specijalnih uređaja za ograničenje prenapona može se usvojiti da će visine očekivanih tranzijentnih prenapona ostati ispod jedne jasno određene granice.

Prvi korak u određivanju efikasne zaštite električne opreme (u zatvorenom i otvorenom prostoru) protiv pojave tranzijenata u mreži je da se ti tranzijenti precizno karakterizuju, za šta smernice daje standard IEEE C62.41.2. Ovaj standard definiše talasne oblike napona otvorene veze i struje kratkog spoja koji se mogu očekivati u niskonaponskoj mreži (ispod 1000 VAC). Standard definiše 3 nivoa tranzijentne aktivnosti i označava ih kao prenaponske kategorije („Location Categories“) od A do C (viša prenaponska kategorija znači viši podnosivi tranzijentni prenapon za uređaj koji se štiti).

Slika 2 daje objašnjenje prenaponskih kategorija definisanih ovim standardom. U okviru kategorije C koja obuhvata i instalacije na otvorenom (u šta spadaju i instalacije spoljnog osvetljenja), definisana su 2 podnivoa zaštite: 6 kV/3 kA za uslove manje izloženosti i 10 kV/10 kA za uslove veće izloženosti. Koji podnivo će biti korišćen, zavisi od primene i lokacije instalacije. Standard kaže da ulično osvetljenje tipično potpada pod podnivo 10 kV/10 kA za uslove veće izloženosti.



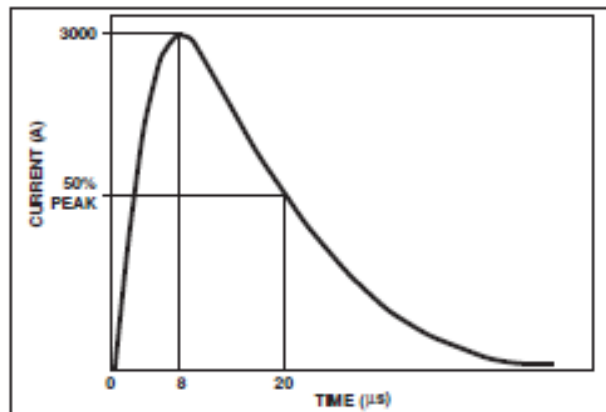
Slika 2. Kategorije prenaponske zaštite prema standardu C62.41.2

Tabela 1. Standardni testovi za uređaje prenaponske zaštite za prenaponsku kategoriju C

Exposure	Standard tests		Optional test
	1.2/50 $\mu$ s Voltage generator	8/20 $\mu$ s Current generator	100 kHz Ring Wave for front-of-wave response evaluation
	Minimum open-circuit voltage to be applied to SPD	Current to be driven through the SPD <sup>2</sup>	
Low	6 kV	3 kA <sup>3</sup>	6 kV
High	10 kV	10 kA	6 kV

Kao što se u tabeli 1 može videti, uređaji prenaponske zaštite SPD (surge protection devices) se uobičajeno testiraju na 3 načina: 1) generator udarnih napona generiše impulsne napone standardnog oblika 1.2/50 $\mu$ s (čeoono vreme pražnjenja /vreme trajanja udarnog talasa) 2) generator udarnih struja generiše strujne impulse standardnog oblika 8/20 $\mu$ s i 3) Generator oscilatornih talasa (0.5 $\mu$ s-100kHz Ring Wave) koji generiše udarni napon otvorene veze do 6

kV i očekivanu struju kratkog spoja do 0.5 kA, pri čemu frekvencija oscilacija iznosi do 100 kHz.



Slika 3. Generator kombinovanog udarnog talasa

Test 3 je opcioni, a za uslove manje izloženosti 6 kV/3 kA moguće je koristiti generator kombinovanog talasa 1.2/50µs - 8/20µs (Slika 3) koji generiše napon otvorene veze do 6 kV i struju kratkog spoja do 3 kA (kombinacija testa 1 i 2, tj. naponskog i strujnog generatora). Kada se ispituju uređaji za uslove veće izloženosti 10 kV/10 kA, neophodno je da se imaju 2 odvojena generatora i da se posebno izvrše testovi 1 i 2.

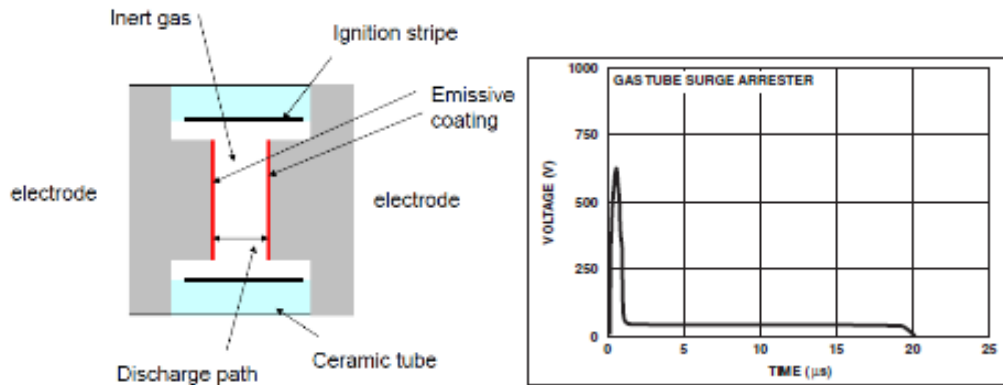
## Uređaji prenaponske zaštite

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.

Uređaji prenaponske zaštite (u daljem tekstu SPD - surge protection devices, u literaturi se mogu javiti i kao TVSS – Transient voltage surge suppressor) mogu se podeliti na dva osnovna tipa:

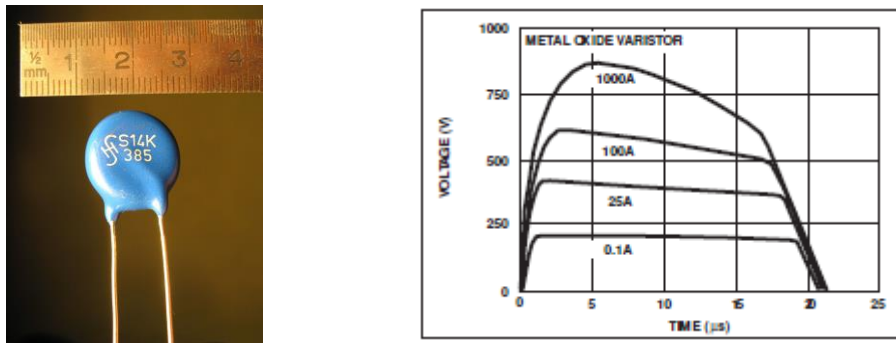
- **uređaji naponski „prekidnog“ tipa** (voltage switching type SPD) – ovi uređaji imaju veliku impedansu u normalnom radu, dok se pri nailasku prenaponskog talasa impedansa naglo promeni na vrlo nisku vrednost. Primeri ovakvih uređaja su iskrišta, katodni odvodnici, tiristori i trijaci. Ovaj tip uređaja se veoma često u literaturi (naročito onaj koja se bavi osvetljenjem) naziva i "*crowbar type SPD*" (reč *crowbar* u srpskom jeziku znači pajser, a naponska karakteristika ovih uređaja upravo podseća na izgled ove alatke (Slika 4b)). Najčešće korišćeni uređaj ovog tipa (u osvetljenju) je katodni ili gasni odvodnik prenapona (u literaturi GDT – gas discharge tube, Slika 4a). Kada dođe do udara prenapona, stvara se električno polje dovoljno jako da jonizuje gasove u uređaju, čineći ga veoma efikasnim provodnikom. Uređaj provodi struju u zemlju dok se napon ne vrati na normalan nivo kada impedansa ponovo raste i uređaj vraća u stanje niske provodnosti. Katodni (cevni) odvodnici su zapravo iskrišta kod kojih je omogućeno gašenje luka. Elektrode iskrišta (dve elektrode od kojih je jedna uzemljena, a druga vezana za fazni provodnik) postavljaju se na određenom međusobnom rastojanju u specijalnu cev (napravljenju od tvrde gume i vodenog

stakla) koja ima sposobnost da svojim toplotnim dejstvom razara električni luk stvarajući gasove.



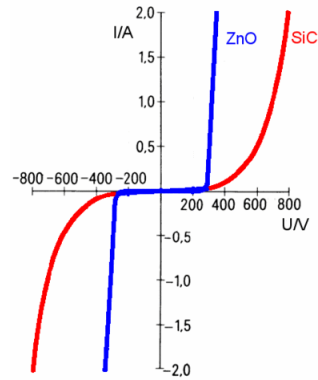
Slika 4. Konstrukcija GDT-a (a) i karakteristika naponski prekidnog tipa SPD pri nailasku prenapona (b)

- **uređaji naponski „ograničavajućeg“ tipa** (voltage limiting type SPD) – ovi uređaji imaju veliku impedansu u normalnom radu koja se sa povećanjem prenaponskog i strujnog talasa kontinuirano smanjuje. Primeri ovakvih nelinearnih uređaja su varistori (MOV – metal-oxide varistor, u literaturi poznati i kao VDR - voltage-dependent resistors, Slika 5a), zener diode i diode sa lavinskim efektom. Ovaj tip uređaja se veoma često u literaturi naziva i "*clamping type SPD*" (reč *clamp* u srpskom jeziku znači spona ili veza), a "*clamping voltage*" se može prevesti i kao propusni napon uređaja. To je zapravo prag napona na kojem će odvodnik prenapona postati provodan i sprovesti energiju prenapona u zemlju (Slika 5b). Ovaj napon minimalno treba da bude veći od efektivne vrednosti mrežnog napona (npr. koriste se uređaji sa propusnim naponom od 275 (277) VAC).



Slika 5. MOV (a) i propusni napon MOV za različite struje (b)

Najčešće korišćeni uređaj ovog tipa (u osvetljenju) je metal-oksidni varistor (MOV, Slika 5a) koji ima promenljivu otpornost u zavisnosti od napona. Kada se dostigne propusni napon uređaja, varistor postaje provodan i odvodi višak struje kroz sebe u zemlju. Čim je ta struja preusmerena u zemlju, napon se vraća na normalnu vrednost i impedansa uređaja ponovo postaje velika. MOV se praktično ponaša kao ventil koji se otvara samo kada preusmerava višak struje u zemlju, pritom ne prekidajući rad uređaja kojeg štiti. Iz tog razloga se u literaturi ovaj uređaj naziva i ventilni odvodnik prenapona (silicijum-karbidni ili cink-oksidni odvodnik prenapona (Slika 6)).

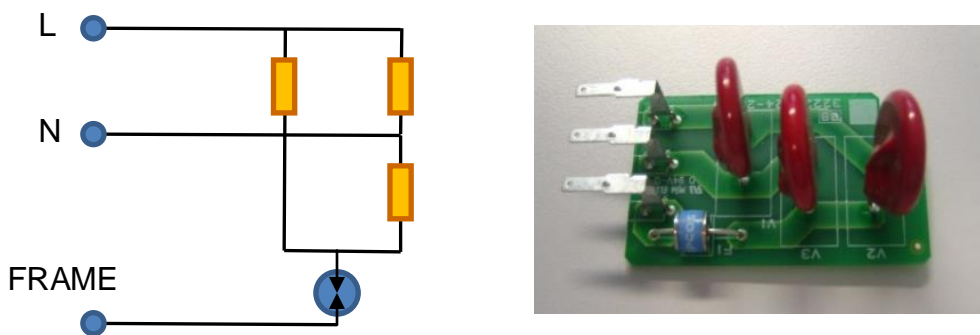


Slika 6. U-V karakteristika SiC i ZnO odvodnika

Metal-oksadni varistor ima kraće vreme reagovanja, ali i ograničenu sposobnost odvođenja struje jer se veći deo energije tranzijenta mora disipirati kroz sam uređaj. Pri prolasku strujnog talasa kroz MOV, napon na njemu je relativno visok pa je energija koju treba da apsorbuje metal-oksidna pločica u uređaju velika (kao proizvod trenutnih vrednosti napona, struje i vremena). Katodni odvodnik ima nešto duže vreme reagovanja, ali i sposobnost odvođenja znatno većih struja jer se ponaša kao prekidač male impedanse koji skreće (šantira) energiju tranzijenta od šticeg uređaja. Pri prolasku strujnog talasa kroz katodni odvodnik, napon na njemu (napon električnog luka) je nizak pa je energija koju treba da apsorbuje uređaj znatno manja (kao proizvod trenutnih vrednosti napona, struje i vremena).

Iako je napon koji može da se javi na uređaju koji se štiti viši u slučaju katodnih odvodnika, energija koja se predaje uređaju koji se štiti je mnogo manja nego u slučaju metal-oksidnih varistora.

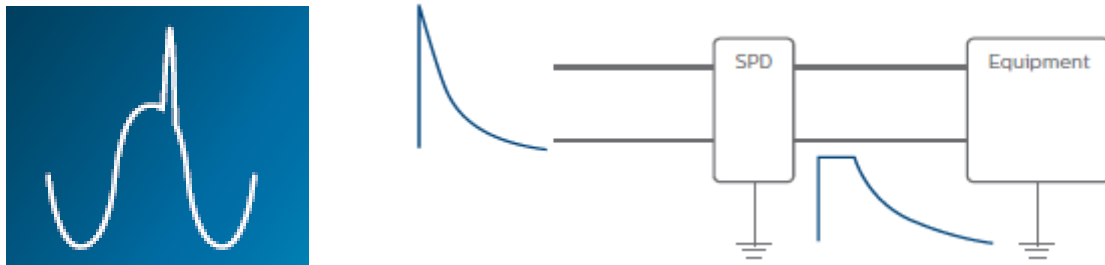
*Može se zaključiti da je idealna prenaponska zaštita zapravo kombinacija ova dva tipa uređaja (spoj brzine reagovanja MOV-a i efikasnog odvođenja energije i kontrole struje GDT-a), a ovakav hibridni odvodnik prenapona je zaštitni uređaj koji se najčešće koristi u LED svetiljkama (Slika 7)!*



Slika 7. Hibridno kolo i konstrukcija jednog hibridnog uređaja

Hibridni SPD obično u svom sklopu sadrži i osigurač koji zapravo predstavlja termički otpornik (u literaturi TCO – Thermal Cut-off) koji lako provodi struju dok god je ona ispod određenog nivoa. Ako struja poraste iznad prihvatljive vrednosti, toplota koja se stvara usled otpora čini da osigurač odreaguje i tako sačuva uređaj koji se štiti. Ovaj osigurač radi samo u jednom ciklusu jer biva potpuno uništen u tom procesu. Termička zaštita se najvećim delom

ugrađuje zbog opasnih privremenih prenapona koji, iako niže amplitude od atmosferskih prenapona, usled učestanosti i dužeg trajanja mogu da dovedu do uništenja prenaponske zaštite (degradacija materijala od kojeg je napravljen MOV), a posledično i šticećnog uređaja. Takođe, na ovaj način se sprečava da kroz oštećen varistor prolazi struja oticanja (leakage current). Upravo je struja oticanja jedan od razloga zbog kojeg se koristi hibridni sklop sa katodnim odvodnikom. Katodni odvodnik obezbeđuje veliku otpornost ka zemlji što blokira struju oticanja od faznog ili neutralnog provodnika ka njoj. Na slici 8 prikazan je uprošćen izgled jednog kola sa prenaponskom zaštitom i njen princip rada.



Slika 8. Oblik prenaponskog talasa i princip rada prenaponske zaštite

Treba pomenuti i da efikasnost prenaponske zaštite zavisi od udaljenosti (dužine kabla) između zaštitnog uređaja i uređaja koji se štiti (svetiljke), ali ovaj rad se time neće baviti jer svi renomirani proizvođači svetiljki obezbeđuju neki vid integrisane prenaponske zaštite (LED drajveri su često konstruisani da mogu da pruže određenu zaštitu, dok se u slučaju strožijih zahteva ugrađuju dodatne SPD jedinice).

## Uređaji prenaponske zaštite u LED svetiljkama

Prema standardu IEC 61643-11:2007, postoje 3 tipa uređaja prenaponske zaštite, što je već pomenuto u opisu standardnih testova za C kategoriju izloženosti:

**Tip 1** – štiti električnu instalaciju od direktnih prenaponskih udara, karakteriše ga strujni talas 10/350  $\mu$ s,

**Tip 2** – sprečava širenje prenapona u električnoj instalaciji i štiti potrošače, karakteriše ga strujni talas 8/20  $\mu$ s, i

**Tip 3** – koristi se za lokalnu zaštitu osetljivih potrošača, karakteriše ga kombinacija naponskog talasa 1.2/50  $\mu$ s i strujnog talasa 8/20  $\mu$ s.

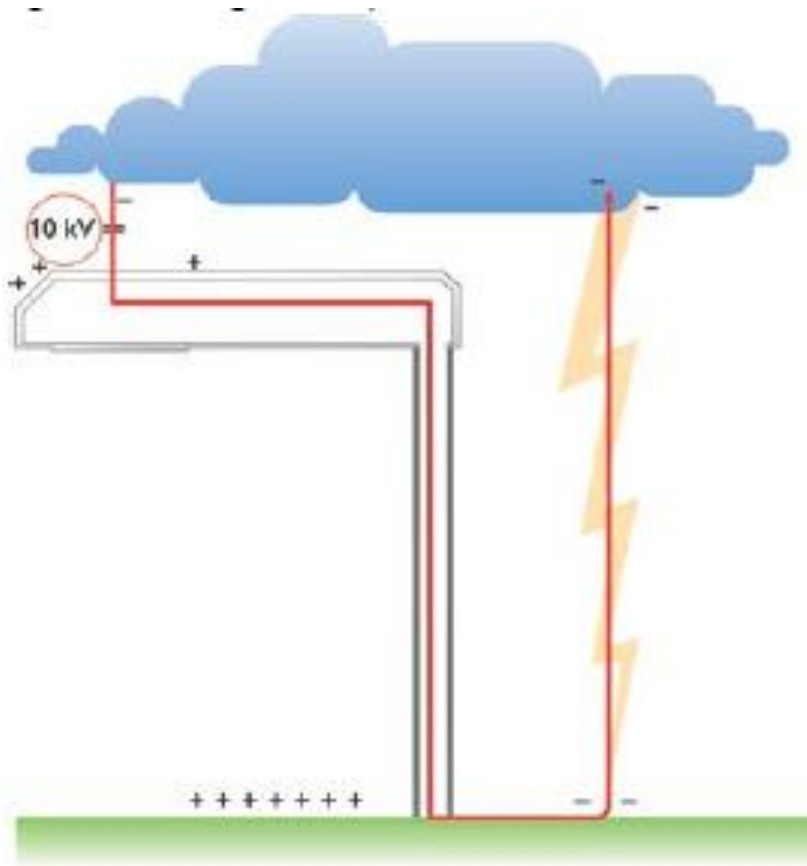
Postoji dosta uređaja na tržištu čija konstrukcija predstavlja kombinaciju nekih od ovih tipova, ali najveći broj uređaja prenaponske zaštite pripada Tipu 3. Treba napomenuti da ovi uređaji ne štite samo svetiljke sa LED izvorima, već i one sa drugim tipovima izvora (fluorocevi, HID) koje koriste elektronske predspojne uređaje.

Standard EN 61547 kaže da svetiljke treba da budu zaštićene od prenapona do 1 kV u tzv. „differential mode“ režimu (u daljem tekstu DM) i do 2 kV tzv. „common mode“ režimu (u daljem tekstu CM). Stručna javnost smatra da je to nedovoljna zaštita, pa se u konstrukciji svetiljki ravna prema već pomenutom standardu ANSI C62.41.2 koji predviđa 2 nivoa zaštite za različite stepene izloženosti (6 kV/3 kA i 10kV/10 kA).

Mnogi LED drajveri već imaju integrisanu zaštitu i do 4 kV za oba režima ali je to i dalje nedovoljno pa se preporučuje ugradnja dodatnih SPD uređaja.



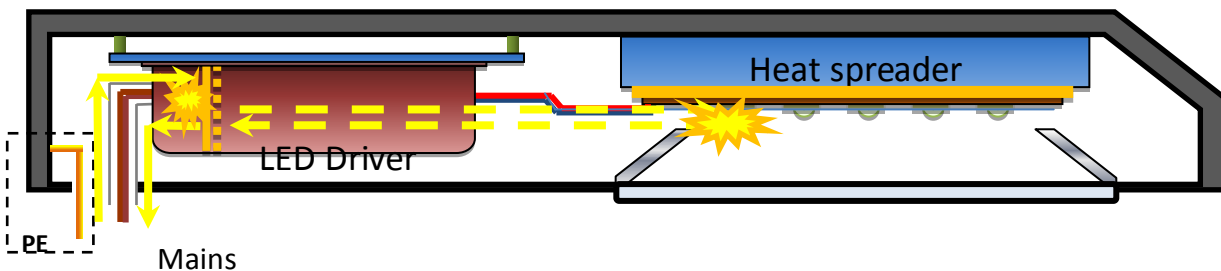
DM režim je zapravo cirkulacija prenaponskog talasa između faznog i neutralnog provodnika (L-N), dok je CM režim cirkulacija prenaponskog talasa između faznog i neutralnog provodnika i zemlje (L-PE i N-PE). LED svetiljke se štite od indirektnog prenapona (od direktnog se ne mogu štititi), a na slici 9 je prikazan proces indukovanja velikih udarnih struja u svetiljci kada se između oblaka i zemlje generiše prenapon usled udara groma bliže ili dalje od štice svetiljke.



Slika 9. Indukovanje udarnih struja usled indirektnog udara groma

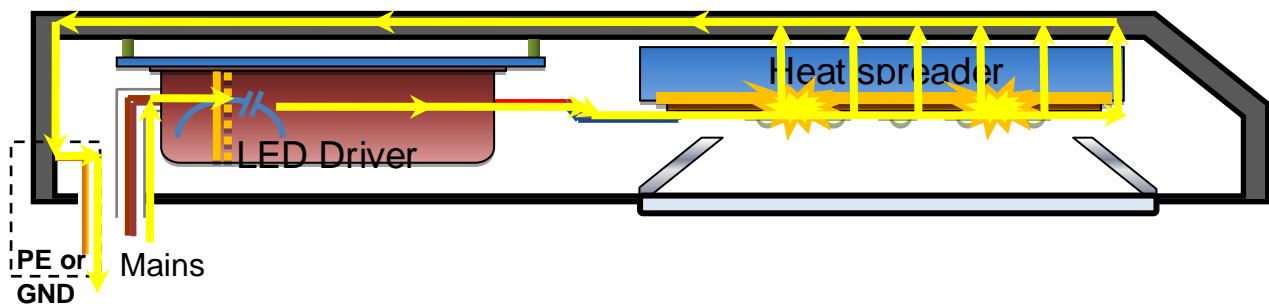
Ukoliko se u svetiljkama ne nalazi uređaj prenaponske zaštite, vrlo je verovatno da će se desiti kvar na LED drajveru i/ili LED modulu. Ispod su prikazani procesi u slučaju DM i CM režima cirkulacije prenapona.

U slučaju DM režima, prenapon može oštetiti drajver (uvek) ili LED modul (struja se indukuje kroz transformator unutar drajvera i prenosi na LED čipove), ili oba (slika 10).



Slika 10. DM režim cirkulacije prenapona

U slučaju CM režima, prenapon može oštetiti LED čipove, a da ne ošteti drajver zahvaljujući razdvojenom primaru i sekundaru koji su kapacitivno spregnuti (prenapon se prenosi na LED modul - Slika 11)



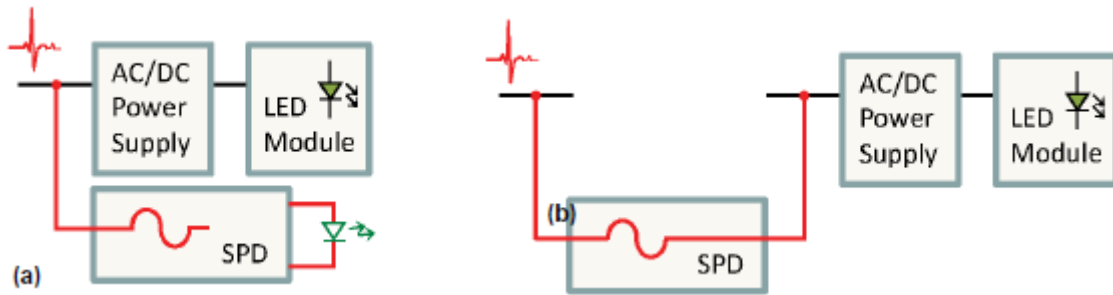
Slika 11. CM režim cirkulacije prenapona

CM režim je opasniji za svetiljku jer se može generisati značajno veća energija prenaponskog talasa. Pitanje klase električne zaštite takođe postaje važno u CM režimu. Ukoliko je svetiljka klase I, njeno kućište je direktno povezano na uzemljenje. Ukoliko je svetiljka klase II i postavljena je na metalni stub, postoji električni put ka zemlji iako ne postoji priključak za uzemljenje (svi provodnici u svetiljci moraju imati pojačanu ili dvostruku izolaciju).

Ovde je važno reći da su se SPD uređaji renomiranih proizvođača koristili za obe klase električne zaštite (za klasu II SPD se povezivao na kućište svetiljke), ali prema novoj reviziji 8 standarda za svetiljke EN 60598-1 to više nije dozvoljeno – za klasu II moraju se koristiti specijalizovani uređaji prenaponske zaštite. Kako sada stoje stvari, za svaku klasu će se koristiti drugi SPD, ta funkcija neće biti objedinjena u jednom uređaju. Takođe, uređaji sa katodnim odvodnicima prema novim zahtevima standarda nisu pogodni za klasu II, kaže se da između faznog/neutralnog provodnika i metalnog kućišta svetiljke moraju biti korišćeni Y kondenzatori (kondenzatori vezani u zvezdu). Iako to još uvek nije jasno definisano, standard EN 60598-1 kaže i da će se uređaji prenaponske zaštite montirati u svetiljke za klasu I, kao i ih je bolje smestiti u stub u slučaju klase II električne zaštite (povezati na RP ploču). Svi stariji uređaji bili su pogodni za korišćenje uglavnom u mrežama sa TN sistemom zaštite, novi uređaji su konstruisani tako da se mogu koristiti u mrežama sa bilo kojim sistemom zaštite (TN, TT, IT).

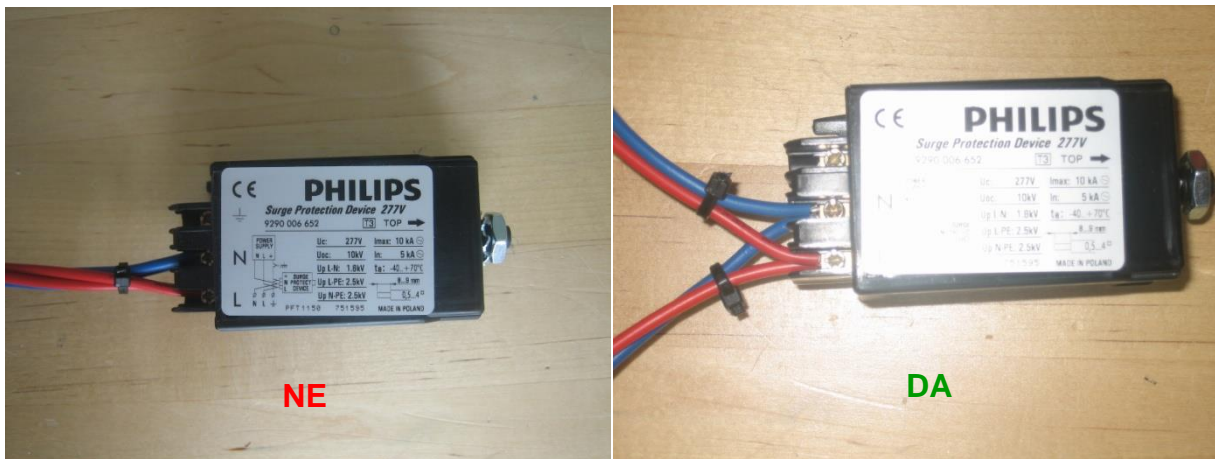
Većina SPD uređaja koji se koriste u LED svetiljkama su predviđeni za **paralelnu vezu** sa LED drajverom (Slika 12a). Međutim, kada ovakav uređaj pregori ili završi svoj životni vek, on ispada iz električnog kola i svetiljka nastavlja nesmetano da radi. Ovo znači da ne postoji informacija o kvaru uređaja prenaponske zaštite, kao i da svetiljka ostaje nezaštićena u slučaju narednog prenaponskog udara. Prema standardu IEC 61643, svaki uređaj prenaponske zaštite mora imati ugrađenu indikatorsku lampicu na osnovu koje će se znati trenutni status uređaja.

Kod **redne veze** (Slika 12b) se sa ispadanjem SPD uređaja iz rada (pregorevanje ili kraj životnog veka) prekida električno kolo svetiljke koja se isključuje. Ovaj način vezivanja daje informaciju o prekidu rada uređaja radi njegove zamene, ali i sprečava da neki naredni prenaponski talas uništi LED kolo (pre svega drajver). Interes za rednim vezivanjem uređaja prenaponske zaštite rapidno raste, pre svega jer je mnogo jeftinije zameniti samo SPD nego kompletnu svetiljku.



Slika 12. SPD uređaj u paralelnoj (a) i rednoj vezi (b)

Prilikom povezivanja prenaponske zaštite u električno kolo LED svjetiljke treba voditi računa o povezivanju i o vođenju provodnika primarne (AC) i sekundarne (DC) strane. Preporučuje se da se provodnici primarnog i sekundarnog kola ne vode zajedno duže od 3 cm, ukoliko je to moguće. Ukoliko su provodnici primarne i sekundarne strane u snopu pod istom vezicom, može doći do indukovanja prenapona i na sekundarnoj strani (na slici 13 dat je primer nepravilnog i pravilnog povezivanja provodnika kod prenaponskog uređaja SPD 277V, proizvođača Philips).



Slika 13. nepravilno (a) i pravilno kabliranje SPD 277V uređaja (b)

Ispod su date slike nekih od poznatijih uređaja prenaponske zaštite koji se mogu naći na tržištu (iznad na slici 13 je već prikazan uređaj koji je bio veoma zastupljen u kompaniji Schréder tokom prethodnih godina).



PHILIPS SPD Gen 2



VOSSLOH-SCHWABE

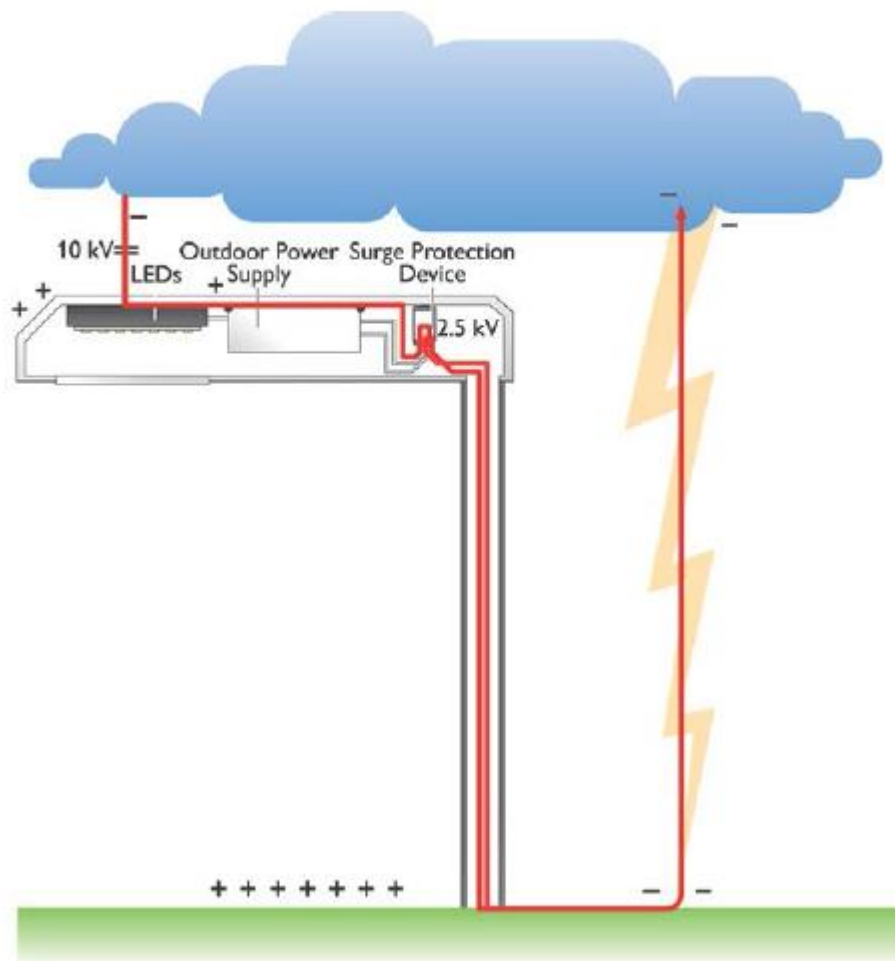


CIRPROTEC



WÜRTH

Umesto zaključka, na slici 14 je prikazan efekat jednog uređaja prenaponske zaštite, gde indukovane udarne struje prolaze kroz njega i zaobilaze LED modul i drajver, tako ih štiteći od oštećenja ili totalnog uništenja.



Slika 14. Efekti prenaponske zaštite

## Relevantni standardi i preporuke

Da bi se napravio optimalan izbor uređaja prenaponske zaštite, neophodno je poznavati određene standarde iz ove oblasti koji definišu karakteristike i kvalitet jednog takvog uređaja.

Udruženje elektro i elektronskih inženjera (IEEE) je izdalo set standarda koji se bave problematikom prenapona u niskonaponskim električnim kolima naizmenične struje.

- IEEE C62.41.1, “Guide on the Surge Environment in Low-Voltage (1000 V and less) AC Power Circuits”
- IEEE C62.41.2, “Recommended Practice on characterization of Surges in Low-Voltage (1000 V and less) AC Power Circuits”
- IEEE C62.45, “Recommended Practice on Surge Testing for Equipment Connected to Low-Voltage (1000 V and Less) AC Power Circuits”

Ovi standardi su proistekli iz višegodišnjeg naučno-istraživačkog rada, a kao takvi su prepoznati i usvojeni od strane Američkog nacionalnog instituta za standarde (ANSI). Pored ovih standarda veoma su značajni i standardi navedeni ispod.

- ANSI/UL 1449, 3<sup>rd</sup> Edition: „Standard for Transient Voltage Surge Suppressors (SPDs)“
- IEC EN 61000-4-5, Electromagnetic compatibility (EMC) - Part 4-5: „Testing and measurement techniques - Surge immunity test“
- IEC 61643-11:2011: Low-voltage surge protective devices – part 2: Surge protective devices connected to low-voltage power systems – Requirements and test methods.

## Literatura

- [1] IEEE C62.41.2, “Recommended Practice on characterization of Surges in Low-Voltage (1000 V and less) AC Power Circuits”, 2002.
- [2] Predavanja iz predmeta „Tehnika Visokog Napona”, ETF u Beogradu, 2006., <http://www.elektroenergetika.info/tvn-uvod.pdf>
- [3] CIRPROTEC Technical Article No. 3, „Lightning and surge protection in outdoor lighting systems“, 2012.,  
<http://www.cirprotec.com/hr/content/download/54660/1771873/file/CPT-Cirprotec-TA3-TECH-ARTICLE-PROTECTING-OUTDOOR-LIGHTING-SYSTEMS.pdf>
- [4] „Cabling Rules for SPD and EMC“, Schröder “Development Days”, Liege, 2013.
- [5] „Upoznavanje sa naponskim nivoima u EES-u Srbije, sa podnosivim i ispitnim naponima opreme u EES-u“, PPT prezentacija, [www.viser.edu.rs/download.php?id=13023](http://www.viser.edu.rs/download.php?id=13023)
- [6] „Overvoltage protection for LED street lighting“, OSRAM brošura,  
<https://www.osram.com/media/resource/HIRES/612095/overvoltage-protection-for-led-street-lighting-en.pdf>
- [7] „Surge protection concept for LED street lights“, DEHN Protection SA,  
<http://www.ee.co.za/article/surge-protection-concept-led-street-lights.html>
- [8] Ivo Uglešić, Viktor Milardić, „Izabrana poglavlja Tehnike viskog napona“, Zagreb, 2007.
- [9] <https://en.wikipedia.org/wiki/Varistor>
- [10] „Surge Protection update“, Schröder “Development Days”, Liege, 2014.
- [11] Tom Harris, „How Surge Protector works“,  
[http://www.mindpride.net/root/Extras/how-stuffworks/how\\_surge\\_protectors\\_work.htm](http://www.mindpride.net/root/Extras/how-stuffworks/how_surge_protectors_work.htm)
- [12] Philips white paper, „Street Lighting – the challenges of surge protection“, 2014.  
[http://images.philips.com/is/content/PhilipsConsumer/PDFDownloads/Global/ODLI20150723\\_001-UPD-en\\_AA-white\\_paper\\_the\\_challenges\\_of\\_surge\\_protection\\_7-2015.pdf](http://images.philips.com/is/content/PhilipsConsumer/PDFDownloads/Global/ODLI20150723_001-UPD-en_AA-white_paper_the_challenges_of_surge_protection_7-2015.pdf)
- [13] „LED Lighting Surge Protection Modules - Design and Installation Guide“, Littelfuse®, 2015.  
[http://m.littelfuse.com/~media/electronics/design\\_guides/varistors/littelfuse\\_led\\_lighting\\_spd\\_module\\_design\\_and\\_installation\\_guide.pdf.pdf](http://m.littelfuse.com/~media/electronics/design_guides/varistors/littelfuse_led_lighting_spd_module_design_and_installation_guide.pdf.pdf)
- [14] „Design-in Guide – Philips surge protection device 277V“, Philips, 2011., zvanični sajt Philips Lighting
- [15] „Protecting LED systems in accordance with IEEE&ANSI C62.41,2“, Philips, 2011., zvanični sajt Philips Lighting