



**UNIVERZITET U BEOGRADU
ELEKTROTEHNIČKI FAKULTET**

Postdiplomske studije

Smer: Energetski pretvarači i pogoni

MAGISTARSKI RAD:

**TEHNOEKONOMSKA ANALIZA OPRAVDANOSTI
UPOTREBE ELEKTRONSKIH PREDSPOJNIH
UREĐAJA U ULIČNOM OSVETLJENJU**

**Mentor:
Prof. dr Miomir Kostić**

**Student:
Andrej Đuretić
Broj indeksa: 74/02**

2012.

SADRŽAJ

1 Uvod	1
2 Zadatak i sadržaj rada	2
3 Osnovne karakteristike izvora svetlosti i predspojnih uređaja	3
3.1 Osnovne karakteristike natrijumovih izvora visokog pritiska	3
3.1.1 Princip rada	3
3.1.2 Stabilizacija rada izvora svetlosti	5
3.1.3 Ponašanje izvora svetlosti u zavisnosti od učestanosti	11
3.1.4 Uticaj temperature ambijenta	11
3.1.5 Uticaj fluktuacija napona	11
3.1.6 Životni vek	12
3.2 Elektromagnetska oprema – princip rada i karakteristike	14
3.2.1 Stabilizacija rada	15
3.2.2 Toplotni gubici	19
3.2.3 Harmonijska izobličenja	21
3.2.4 Životni vek prigušnica	24
3.2.5. Efekat ispravljanja (rectifying effect)	26
3.2.6. Upaljači	27
3.2.7. Kondenzatori	30
3.2.8. Korekcija faktora snage (PFC)	31
3.3 Elektronski balasti – princip rada i karakteristike	34
3.3.1 Uvod i osnovni tipovi	34
3.3.2 Akustička rezonancija.....	38
3.3.3 Princip rada.....	41
3.3.4 Osnovne karakteristike elektronskih balasta.....	49
3.3.5 Zavisnost životnog veka od temperature elektronskog balasta	55
3.3.6 Poređenje elektromagnetskih i elektronskih balasta	58
4 Komparativna analiza elektromagnetskih i elektronskih balasta	59
4.1 Uticaj starenja delova svetiljke na njene električne karakteristike	59
4.2 Pad napona kao uticajni faktor	82
4.3 Efikasnost zaštite od indirektnog dodira kao uticajni faktor	86
4.4 Postojeća instalacija javnog osvetljenja	100
4.5 Novoprojektovana instalacija javnog osvetljenja	104
5 Metoda aktuelizacije troškova	105
5.1 Postojeća instalacija javnog osvetljenja	105
5.2 Novoprojektovana instalacija javnog osvetljenja	114
6 Zaključci	121
7 Dodatak	126
8 Prilozi	139
9 Literatura	148

1. UVOD

Izvori svetlosti sa električnim pražnjenjem u gasu niskog pritiska (fluo cevi i natrijumovi izvori niskog pritiska) i visokog pritiska (natrijumovi, živini i metal halogeni izvori) ne mogu raditi samostalno već kao deo strujnog kola u kojem se još nalaze upaljač, kondenzator i balast (najčešće prigušnica). Predspojni uređaj je vezan redno sa izvorom svetlosti i ima ulogu ograničavača struje koja bi usled progresivne jonizacije dostigla struju zasićenja i uništila cev (tj. njene elektrode). Najzastupljeniji tip balasta je elektromagnetski balast koji u vezi sa izvorom praktično predstavlja induktivni spoj. Balast ima još jednu ulogu: nakon otvaranja krajeva upaljača (startera) u njemu se usled akumulirane elektromagnetske energije javlja velika elektromotorna sila samoindukcije (od 600V do nekoliko hiljada volti) koja daje napon na krajevima elektroda, usled čega se između njih generiše veliko električno polje koje jonizuje metalnu paru i omogućava pojavu svetlosti. U poslednje vreme sve je veća primena takozvanih elektronskih balasta koji rade na visokim frekvencijama. Mrežna učestanost se konvertuje na visoku učestanost u opsegu 20-80 kHz, što predstavlja osnovu za brojne prednosti koje imaju ovi predspojni uređaji u odnosu na gore pomenute tradicionalne elektromagnetne balaste.

Prilikom projektovanja instalacije javnog osvetljenja (JO), a uvažavajući investicione i pogonske troškove, uzima se da je prosečan životni vek kompletne instalacije između 20 i 25 godina. Nažalost, neki elektronski uređaji (npr. elektronski balasti) imaju kraći životni vek. Poznato je da redovno održavanje produžava životni vek na koji uticaj mogu imati i odstupanja od nominalnih uslova rada, kao i broj radnih sati i način uključivanja/ isključivanja sistema.

Iako ne postoji opšte pravilo za određivanje životnog veka instalacije, može se uzeti da on iznosi približno *20 godina* za elektromagnetsku predspojnu opremu (sa zamenom kondenzatora posle 10 godina) ili *10 godina* u slučaju elektronskih balasta. Mogući razlozi za zamenu sistema osvetljenja pre kraja životnog veka mogu biti:

- havarija,
- potreba za višim performansama sistema (rekonstrukcija sistema),
- prelazak na novi koncept (najnoviji izvori svetlosti ili moderne svetiljke),
- ušteda električne energije, i
- zaštita životne sredine.

U najvećem broju slučajeva koriste se svetiljke sa elektromagnetskom predspojnom opremom neophodnom za pravilan rad izvora svetlosti (upaljač koji daje visokonaponske impulse neophodne za startovanje izvora, balast koji ograničava struju u kolu i kondenzator koji kompenzuje reaktivnu energiju, odnosno poboljšava faktor snage). U poslednje vreme se sve više govori o upotrebi elektronskih balasta koji objedinjuju funkcije svih komponenti elektromagnetske predspojne opreme. U narednom poglavlju biće predstavljeni natrijumovi izvori visokog pritiska (najviše zastupljeni u instalacijama JO), konvencionalni elektromagnetski balasti i na tržištu sve zastupljeniji elektronski balasti.

2. ZADATAK I SADRŽAJ RADA

Rad ima nekoliko jasno definisanih segmenata koji čine logičku celinu. Analiza je sprovedena prevashodno za natrijumove izvore visokog pritiska koji su najzastupljeniji u instalacijama javnog osvetljenja, koje su predmet ovog rada.

U prvom delu (trećem poglavlju) daje se detaljan teorijski osvrt na natrijumove izvore visokog pritiska i oba tipa balasta, njihove principe rada i primenu.

Drugi deo (četvrto poglavlje) daje komparativnu analizu efikasnosti oba balasta, izvršenu uzimanjem u obzir relevantnih ulaznih parametara – ispituju se različite saobraćajne situacije (različite geometrije puta, snage izvora i rastojanja između susednih stubova) za monofazni, dvofazni i trofazni sistem napajanja. Za dobijene vrednosti pada napona, kao ograničavajućeg faktora u projektovanju instalacije osvetljenja, ispituje se efikasnost zaštite od indirektnog dodira (u javnom osvetljenju najčešće TN-C sistem zaštite). Treći uticaj koji je razmatran je starenje instalacije osvetljenja uz poznavanje životnog veka svake od komponenti u električnom kolu sijalice. Na osnovu programa za simulaciju izvršena je analiza promene električnih parametara jedne instalacije za period od 20 godina. Ovo je period koji je identičan sa prosečnim očekivanim životnim vekom elektromagnetskih balasta (za elektronske balaste uzima se da je životni vek 10 godina). Pritom je uzeto u obzir da se svetlosni izvori menjaju na svake 4 godine (5 godina za elektronske balaste – objašnjeno u poglavljima 3.1.6 i 3.3.6). Na osnovu preliminarnih analiza može se zaključiti da starenje instalacije značajno više utiče na elektromagnetske nego na elektronske balaste. Analiza je vršena za slučaj:

- postojeće instalacije osvetljenja - zamena konvencionalnih balasta elektronskim (nije moguće menjati presek napojnih vodova) - analiza tretira održanje konstantne snage kod elektronskih balasta
- novoprojektovane instalacije - uzima se u obzir činjenica da je na istoj deonici ulice ili puta presek vodova po pravilu manji u slučaju primene elektronskih balasta.

U trećem delu (petom poglavlju) analiziraju se ekonomski aspekt i opravdanost upotrebe elektronskih balasta, koristeći opšteprihvaćenu metodu aktuelizacije troškova.

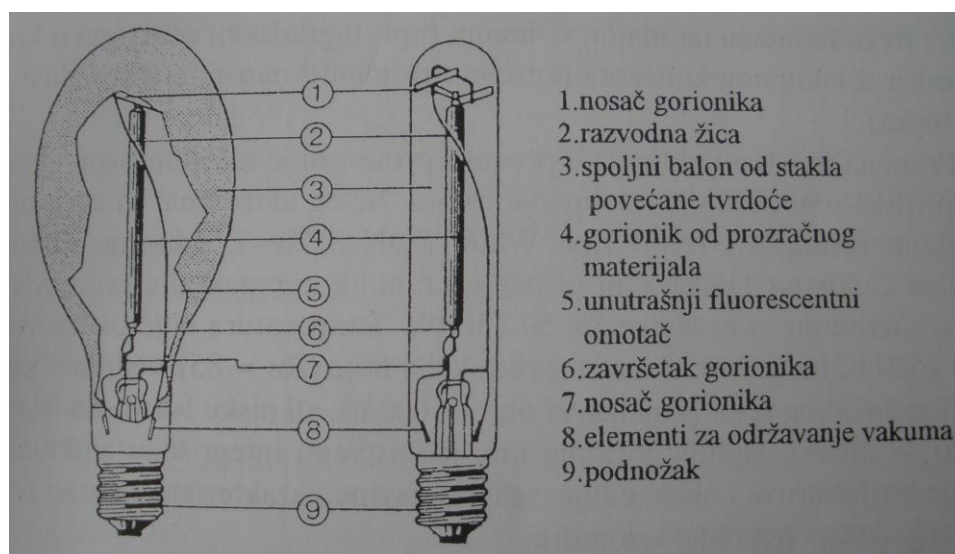
U četvrtom delu (šestom poglavlju) dati su zaključci sprovedene analize.

3. OSNOVNE KARAKTERISTIKE IZVORA SVETLOSTI I PREDSPOJNIH UREĐAJA

3.1. OSNOVNE KARAKTERISTIKE NATRIJUMOVIH IZVORA VISOKOG PRITISKA

3.1.1. PRINCIP RADA

Natrijumovi izvori visokog pritiska spadaju u grupu izvora svetlosti sa električnim pražnjenjem. Za njih je zajedničko da svetlost nastaje kao rezultat električnog pražnjenja u gasu, metalnoj pari ili smeši gasova i metalnih para. Ovakva pojava je poznata kao *elektroluminiscencija*, gde se usled delovanja neke spoljne sile (koju stvara električni napon kada se izvor priključi na izvor napajanja) slobodni elektroni usmereno kreću i sudaraju sa valentnim elektronima gasa ili metalne pare. Kinetička energija koju im prilikom sudara predaju slobodni elektroni pretvara se u kvante zračenja (svetlost). U gorioniku sijalice se pored natrijuma, kao osnovnog punjenja, nalaze i inertni gas ksenon (pomoćno punjenje) i mala količina žive čija je uloga da napon izvora i pritisak u gorioniku podigne do radnih vrednosti. Gorionik malih dimenzija je smešten u stakleni balon koji je najčešće u obliku matiranog elipsoida ili providne cevi (slika 1). Iz balona je izvučen vazduh, što omogućava održavanje temperature gorionika na približno stalnoj vrednosti, nezavisno od promena temperature ambijenta.

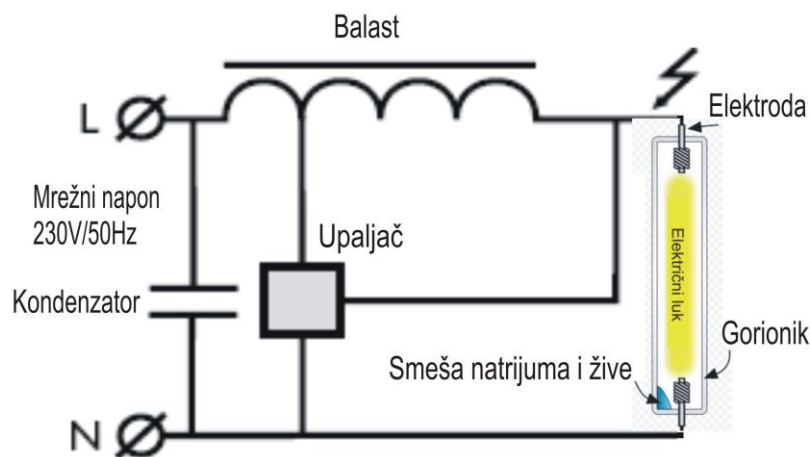


Slika 1. Natrijumovi izvori visokog pritiska u dva oblika [1]

Električni luk se dešava u jonizovanom gasu (plazmi) za čiju je inicijalnu jonizaciju potreban visok napon, zbog čega je neophodno električno kolo sa upaljačem i balastom (slika 2). Balast je redno vezan sa sijalicom i ima dve funkcije:

1) kada se izvor priključi na mrežni napon, upaljač paralelno vezan sa sijalicom dopušta da veoma mala struja protiče kroz balast (20-40 mA). Ona stvara malo elektromagnetno polje u namotajima balasta. Trenutak kasnije upaljač prekida protok struje kroz balast (bimetalna traka, koja je konstruktivni element upaljača, otvara se i prekida kolo čiji je jedan element i balast). Balast ima veliku induktivnost i stoga pokušava da održi protok energije u kolu (suprotstavlja se svakoj promeni struje), ali ne može jer je električno kolo otvoreno. To rezultuje stvaranjem visokog

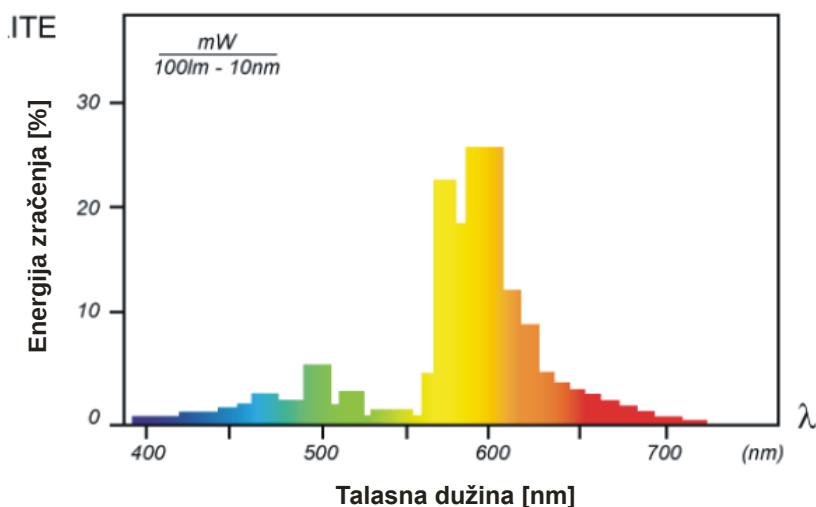
napona na balastu (praktično, to je elektromotorna sila samoindukcije koja nastaje kao posledica akumulisane elektromagnetske energije u balastu). Balast je povezan sa sijalicom, pa se i na nju prenosi visoki napon (impulсни napon paljenja za natrijumove izvore kreće se u opsegu 2.3-4.5 kV, u zavisnosti od snage sijalice i njene unutrašnje konstrukcije). Usled toga dolazi do paljenja električnog luka unutar sijalice. Zapravo, električni luk se formira između elektroda sijalice koje su obično izrađene od volframa, zbog njegovih odličnih termičkih osobina. Ovaj proces se ponavlja sve do trenutka kada je gas (natrijum) dovoljno jonizovan da održi električni luk.



Slika 2. Električno kolo natrijumove sijalice [2,3]

2) kada se električno pražnjenje u gasu dogodi, balast počinje da vrši svoju drugu funkciju, a to je ograničavanje struje sijalice.

Vreme paljenja ovih izvora iznosi oko 5-10 min (ukoliko se ugase, vreme njihovog ponovnog paljenja iznosi oko 2 min, vreme potrebno da se cev sijalice ohladi – temperatura električnog luka tipično 1100°C, a temperature u gorioniku tipično 700°C [4]). Unutrašnji pritisak cevi ovih izvora se kreće u opsegu $5 \cdot 10^3$ - $10 \cdot 10^3$ Pa i odlikuju se velikim sjajnostima, snagama i svetlosnim fluksevima. Ovaj izvor ima spektar sa dominantnim zračenjem talasnih dužina između 550 i 600 nm (slika 3), koji daje svetlost žućkaste (zlatno-bele) boje, indeksa reprodukcije boja samo $R_a = 23$ i temperature boje između 1900 i 2200K, a u zavisnosti od tipa izvora.

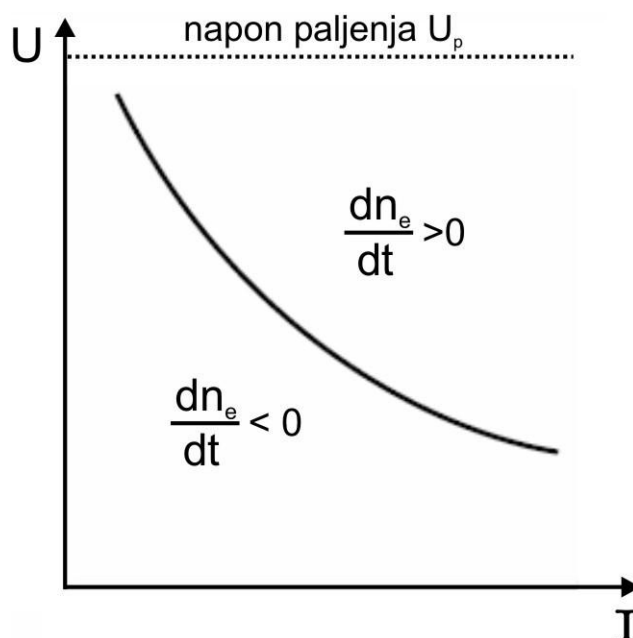


Slika 3. Spektar natrijumovog izvora visokog pritiska [5]

Efikasnost (svetlosna iskoristivost) je jedna od najvažnijih karakteristika HID (High Intensity Discharge) izvora svetlosti, koja daje informaciju o tome koliki deo elektromagnetskog zračenja izvora može biti transformisan u svetlost. To je odnos emitovanog svetlosnog fluksa i snage sijalice i meri se u lumenima po watu (lm/W). Zračenje čije su talasne dužine izvan opsega vidljivog dela spektra smanjuje svetlosnu iskoristivost, jer je svetlosni fluks takvog zračenja jednak nuli. Svetlosna iskoristivost natrijumovih izvora visokog pritiska kreće se u opsegu od 95 do 150 lm/W, takođe u zavisnosti od tipa sijalice. Svetlosna iskoristivost svih HID sijalica raste sa povećanjem snage izvora svetlosti [2].

3.1.2. STABILIZACIJA RADA IZVORA SVETLOSTI

Glavna funkcija balasta je da stabilizuje struju sijalice, pošto HID izvor svetlosti ne može normalno da radi ako se samostalno priključi na električnu mrežu (na mrežni napon). HID izvori imaju *negativnu naponsko-strujnu karakteristiku* (slika 4), pa struja kroz ovakve izvore ne podleže istim zakonima kao struja kroz metalne provodnike. U njihovom električnom kolu u toku procesa paljenja struja raste sa smanjenjem napona na sijalici.



Slika 4. U-I karakteristika HID izvora [2]

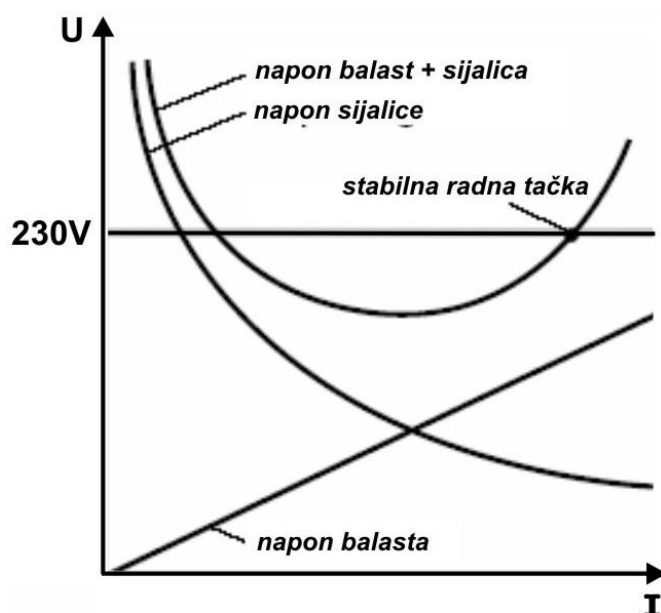
Ako bi se HID izvori priključili direktno na mrežni napon struja sijalice bi stalno rasla, došlo bi do pojave električnog luka (lavinske jonizacije), koji bi za veoma kratko vreme razorio gorionik i uništio sijalicu. Objašnjenje ovog procesa dato je u sledećem pasusu [6].

Kriva prikazana na slici 4 je zapravo kriva ekvilibrijuma, tj. ona predstavlja skup radnih tačaka sijalice (I, U) za koje je promena koncentracije slobodnih elektrona u njoj (dn_e/dt) jednaka nuli (u sijalici je uspostavljena ravnoteža između procesa jonizacije i procesa rekombinacije). Za radne tačke (I, U) koje se nalaze iznad krive, dn_e/dt je veće od nule (stopa jonizacije je veća od stope rekombinacije), pa se koncentracija slobodnih elektrona u sijalici povećava. Za radne tačke (I, U) koje se nalaze ispod krive, dn_e/dt je manje od nule (stopa jonizacije je manja od stope rekombinacije), pa se koncentracija slobodnih elektrona u sijalici smanjuje. Da bi se gas u sijalici jonizovao u meri potrebnoj za uspostavljanje pražnjenja, na njene krajeve je potrebno dovesti napon (U_p) viši od napona pri kome se ima stabilno električno pražnjenje u sijalici. Ako bi to bio

slučaj, posle početka pražnjenja napon na krajevima sijalice ostao bi U_p , pa bi radna tačka pražnjenja (I, U) morala da bude na pravoj $U = U_p$, koja je na slici 4 u oblasti u kojoj je dn_e/dt veće od nule, zbog čega bi koncentracija slobodnih elektrona (n_e) nastavila da raste. Kao posledica porasta koncentracije slobodnih elektrona, struja pražnjenja bi nastavila da raste sve do uništenja sijalice. Ovaj proces se može objasniti i na način dat u sledećem pasusu [2].

Bez ograničavanja struje u kolu, najmanji porast struje sijalice će izazvati pad napona na sijalici. Pošto je izvor svetlosti priključen na mrežni napon, napon sijalice ne može opadati pa će struja nastaviti progresivno da raste, što će posledično dovesti do pregorevanja izvora ili reagovanja osigurača. Na drugu stranu, ukoliko dođe do i najmanjeg pada struje sijalice, napon sijalice mora da raste. Pošto je i dalje izvor svetlosti priključen na mrežni napon, stabilan rad sistema nije moguć pa će se sijalica veoma brzo ugasi.

Balast, kao pasivni element sa *pozitivnom naponsko-strujnom karakteristikom*, treba da obezbedi da vrednost struje koja prolazi kroz sijalicu bude ista ili bliska onoj koju je definisao proizvođač izvora svetlosti. Struja sijalice, koja je ista kao i struja balasta, je određena odnosom napona na balastu i njegove impedanse. Kako je napon na balastu razlika između mrežnog napona i napona na sijalici, maksimalna struja sijalice je ograničena mrežnim naponom. Na ovaj način se stabilna radna tačka održava za sve vrednosti mrežnog napona veće od minimalne dozvoljene vrednosti (slika 5). Zahvaljujući balastu, napon sijalice raste sa porastom struje, vodeći do stabilnog rada sijalice (na slici 5 gornja kriva „napon balast + sijalica“). Leva radna tačka nije stabilna, jer se nalazi na onom delu I-U karakteristike gde svaki dalji porast struje sijalice prouzrokuje pad napona na sijalici, što posledično vodi ka daljem porastu struje i pomeranju ka stabilnoj (desnoj) radnoj tački (na ovom delu I-U karakteristike sa povećanjem struje napon raste, što posledično vodi ka smanjenju struje i povratku u stabilnu radnu tačku).



Slika 5. Naponsko-strujna karakteristika električnog kola sa redno vezanim balastom. Zahvaljujući balastu, napon sijalice raste sa porastom struje sijalice, vodeći do stabilnog rada [2]

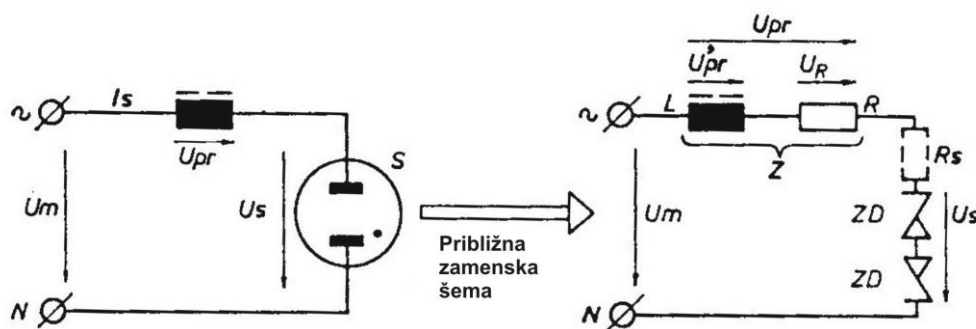
$$I_{sijalice} = I_{balasta}$$

$$I_{balasta} = \frac{U_{balasta}}{Z_{balasta}}$$

$$\vec{U}_{balasta} = \vec{U}_{mreže} - \vec{U}_{sijalice}$$

$$\text{odavde sledi da je [2]: } I_{sijalice} = \frac{(\vec{U}_{mreže} - \vec{U}_{sijalice})}{\vec{Z}_{balasta}} \quad (1)$$

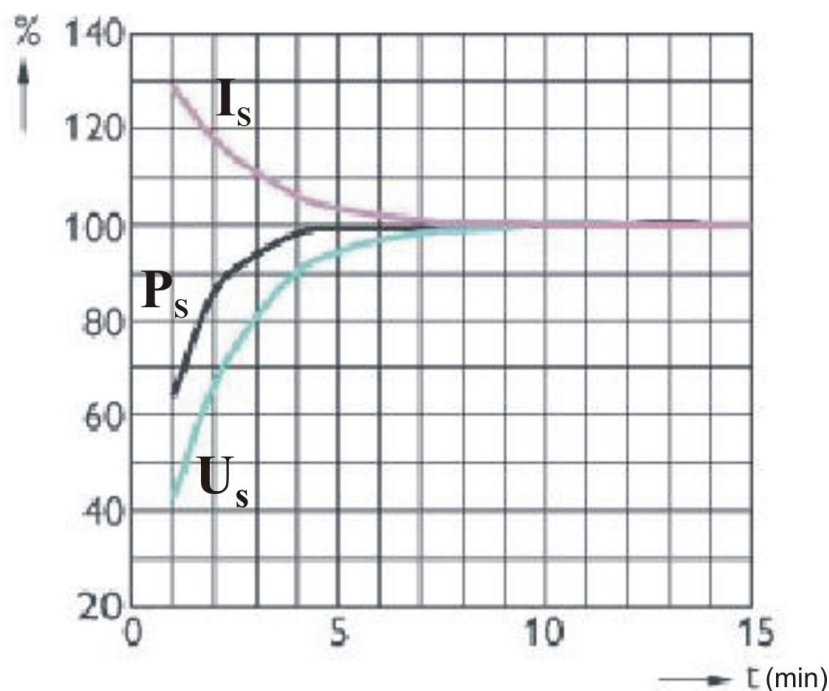
Električno kolo sijalice prikazano na slikama 2 i 6 (levo) može se zameniti ekvivalentnim kolom prikazanim na slici 6 (desno). Sijalica se po svojim karakteristikama i ponašanju u kolu može zameniti neidealnom dvosmernom Zener diodom sa unutrašnjom otpornošću R_s (preciznije, lavinskom diodom koja je zapravo specijalna izvedba Zener diode [7]), pa se u periodu paljenja (startovanja) može tretirati kao ispravljač - na Zener diodi je pad napona veoma mali sve dok se ne dostigne probojni napon (konkretno, napon paljenja sijalice)) [8]. Taj period traje nekoliko desetina sekundi i u tom vremenu egzistira jednosmerna komponenta struje za koju prigušnica praktično ne postoji (predstavlja kratak spoj). Rezultat ovog stanja su kratkotrajni strujni pikovi, oko 50-80% iznad nominalne vrednosti.



Slika 6. Ekvivalentno električno kolo sijalice [8]

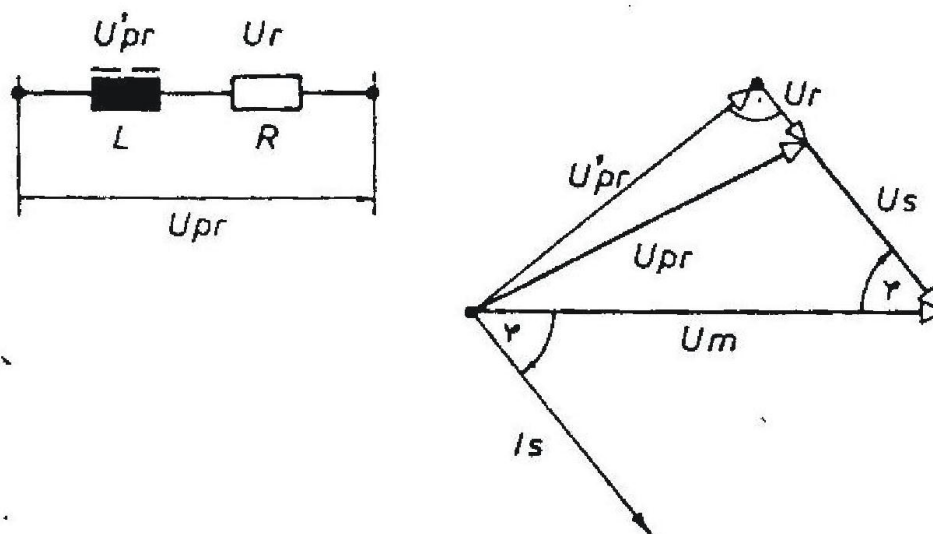
U_m – napon mreže, U_{pr} – napon balasta (prigušnice), U_s – napon sijalice, I_s – struja sijalice, Z – impedansa balasta, ZD – zener dioda, R – omska otpornost prigušnice, R_s – ekvivalentna otpornost sijalice.

Na slici 7 prikazan je dijagram električnih veličina za natrijumove sijalice tipa Master SON-T Pia Plus 100/150/250W E40 u periodu startovanja.



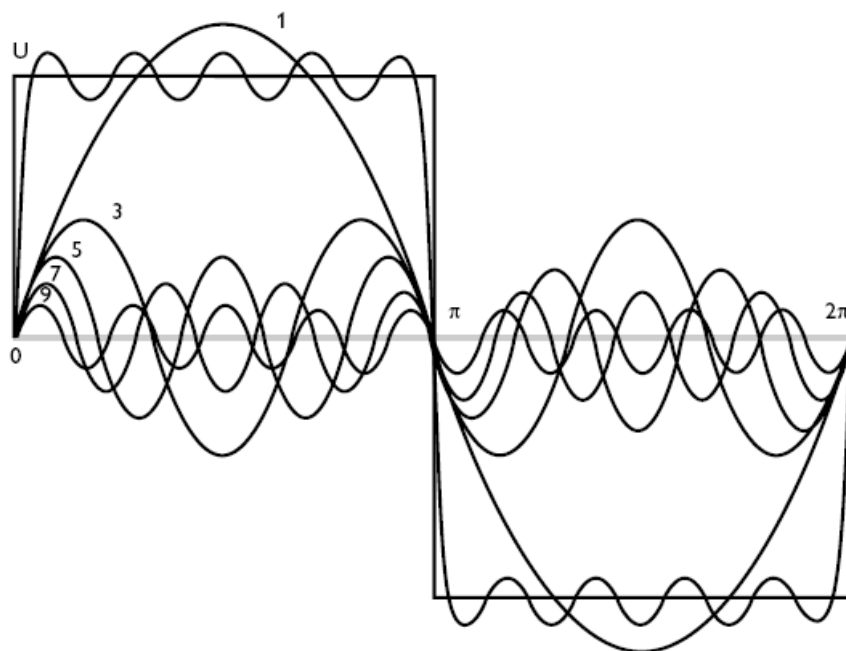
Slika 7. Karakteristike Master SON-T Pia Plus 100/150/250W sijalice u periodu startovanja [9]

Na slici 8 prikazan je uprošćen vektorski dijagram električnog kola sijalice.



Slika 8. Vektorski dijagram električnog kola sijalice [8]

Električno kolo sijalice je, zbog prisustva balasta, induktivnog karaktera i u praksi se vrši njegova kompenzacija (paralelno sa priključkom na mrežu vezuje se kompenzacioni kondenzator). Struja sijalice zaostaje za naponom mreže za određeni ugao φ . Pošto su napon i struja sijalice u fazi, sijalica se može smatrati aktivnim opterećenjem, uz napomenu da snaga sijalice zbog nesinusoidalnog oblika napona sijalice nije jednaka direktnom proizvodu napona i struje sijalice. To znači da je snaga $P_s \neq U_s \cdot I_s$, odnosno $P_s = \alpha \cdot U_s \cdot I_s$, gde je α faktor distorzije (manji od 1, uobičajena vrednost oko 0.9). Prema nekim izvorima [2], ovaj faktor (u literaturi *lamp factor* ili *shape factor*) iznosi približno 0.8 - 0.9 za sijalice stabilizovane radom elektromagnetskih predspojnih uređaja. Napon na sijalici nije sinusoidalan i predstavlja složenoperiodičnu funkciju koja se može razložiti u Furijeov red (slika 9).



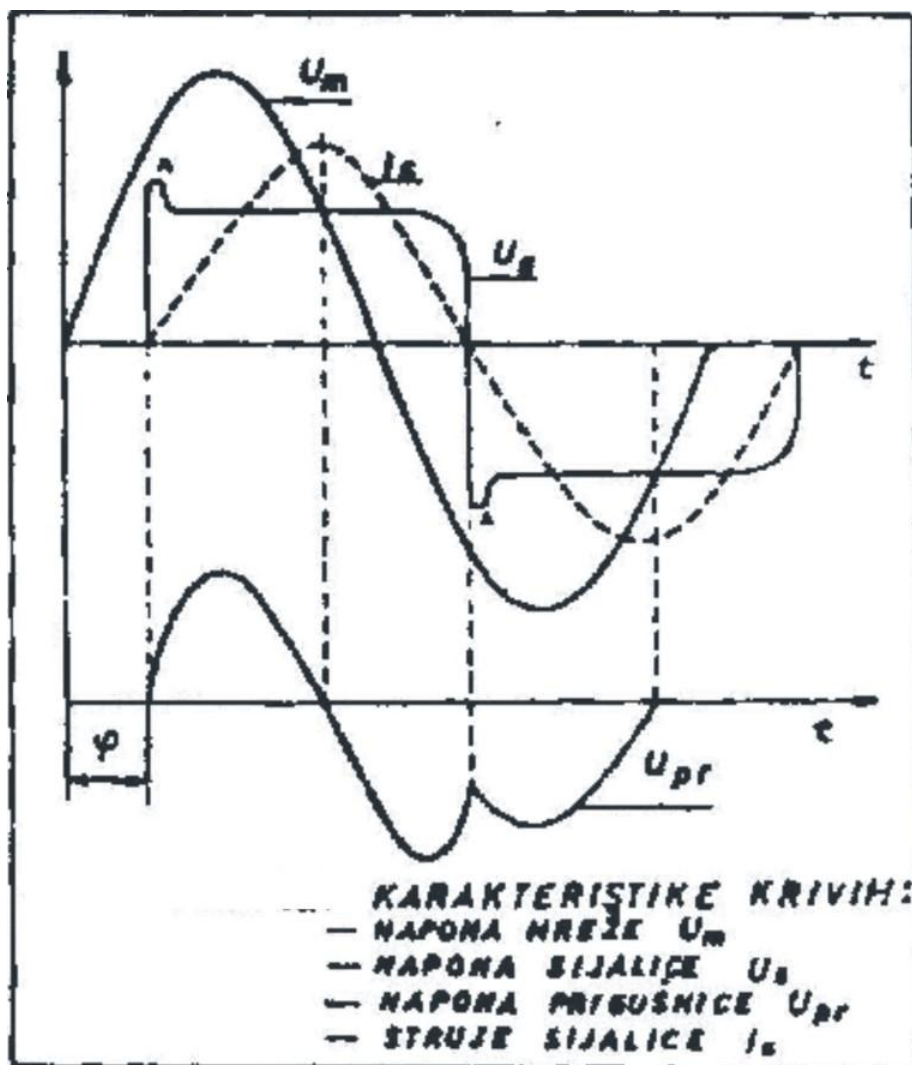
Slika 9. Talasni oblik napona sijalice predstavljen preko neparnih harmonika [2]

Kako je oblik krive napona sijalice pravougaoni (slika 9), on se može predstaviti izrazom [2]:

$$u_s(t) = \frac{4U}{\pi} \left(\sin \omega t + \frac{1}{3} \sin 3\omega t + \frac{1}{5} \sin 5\omega t + \dots \frac{1}{2k-1} \sin(2k-1)\omega t \right) \quad (2)$$

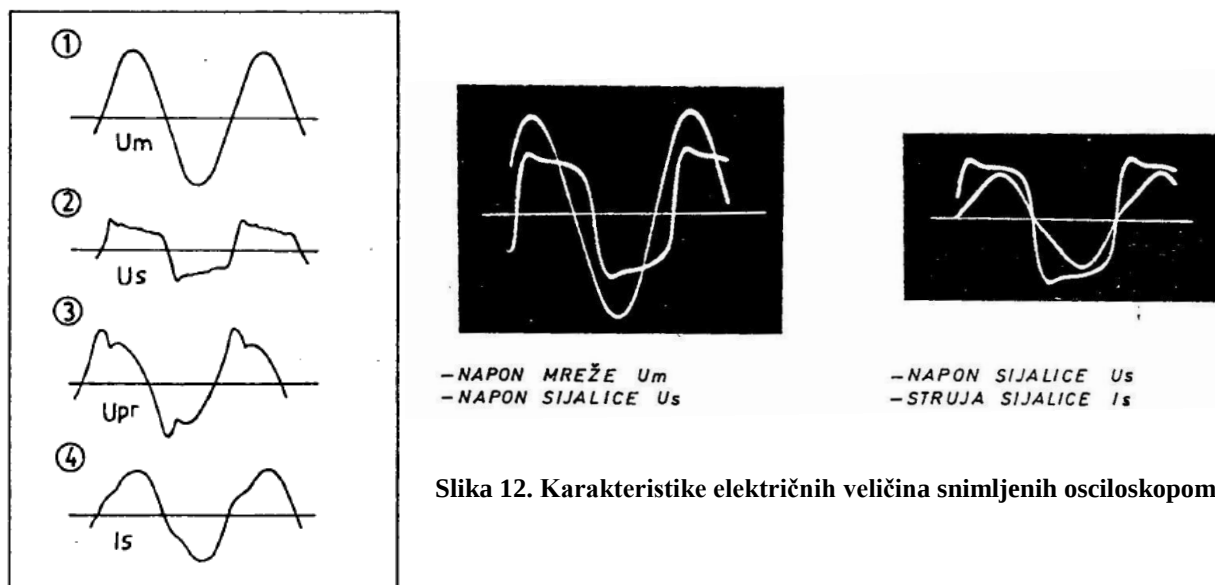
gde $\frac{4U}{\pi}$ predstavlja izraz za amplitudu osnovnog talasa (prvog harmonika, označenog sa „1“ na slici 9) napona sijalice, a „k“ je broj koji pokazuje redni broj harmonika. Da bi se izbegle neželjene varijacije svetlosnog fluksa kao posledica fluktuacija mrežnog napona, napon sijalice ne sme biti veći od približno polovine vrednosti mrežnog napona (100 do 130V).

Dijagrami promene električnih veličina u kolu sijalice prikazani su na slici 10. Ovi dijagrami su idealni, a sve ove veličine u praksi trpe određenu deformaciju kako je to prikazano na slici 11. Napon na sijalici je približno pravougaonog oblika i on delom utiče na promenu oblika napona i struje (struja balasta je ujedno i struja sijalice).



Slika 10. Idealne karakteristike električnih veličina u kolu sijalice [8]

Na slici 12 prikazane su karakteristike električnih veličina u kolu sijalice snimljene osciloskopom, koje potvrđuju odstupanje od idealnih.



Slika 12. Karakteristike električnih veličina snimljenih osciloskopom [8]

Slika 11. Realne karakteristike krivih [8]

Napon na kome će HID svetlosni izvor startovati zove se napon paljenja (ovo je zapravo drugi izraz za probojni napon u smeši gasova unutar sijalice). Prema Pašenovom zakonu [10], probojni napon između dve elektrode je funkcija pritiska u gasu p i rastojanju između elektroda d :

$$V_b = \frac{B \cdot pd}{\ln[A \cdot \ln^{-1}(1 + \gamma^{-1}) \cdot pd]} \quad (3)$$

Parametri A , B i γ su definisani smešom gasova i konfiguracijom elektroda. Da bi se napon paljenja održao što nižim, preduzete su posebne mere kada je reč o konstrukciji sijalice: koristeći Peningov efekat [2], dodaje se pomoćno punjenje (u slučaju natrijumovih izvora ksenon ili argon) koje ima osobinu da zbog niskog napona jonizacije učini probojni napon gasa relativno niskim u hladnom stanju, što omogućuje lakši start sijalice. Takođe, mala toplotna provodnost gasova pomoćnog punjenja minimizira toplotne gubitke u sijalici u radnom stanju. Napon paljenja za natrijumove izvore kreće se u opsegu 2.3-4.5 kV, a u zavisnosti od snage sijalice i njene unutrašnje konstrukcije. Kada se sijalica ugasi, pritisak pare ostaje visok sve dok se lampa ne ohladi. Za vreme ovog perioda, napon koji je na raspolaganju za ponovno paljenje izvora nije dovoljan da ga ponovo startuje. Vreme koje je proteklo od trenutka gašenja do trenutka kada je pritisak u pari dovoljno nizak da dozvoli ponovno paljenje, naziva se napon ponovnog paljenja ("hladni start" sijalice). Ovde se mora napomenuti da napon pražnjenja raste sa porastom pritiska u sijalici [11]. Vreme startovanja kod natrijumovih izvora iznosi oko 5 minuta, dok vreme ponovnog paljenja iznosi 2-3 minuta.

3.1.3. PONAŠANJE IZVORA SVETLOSTI U ZAVISNOSTI OD UČESTANOSTI

Natrijumovi izvori visokog pritiska ne mogu raditi na jednosmernom naponu. Takav rad dovodi do tzv. *kataforetičkog efekta* [12], koji je posledica emisije elektrona sa elektroda u samo jednom smeru usled delovanja konstantnog električnog polja. Tada dolazi do izdvajanja pojedinačnih gasova iz smeše. U ovakvim sijalicama, koje sadrže natrijum i živu, natrijum stvara pozitivne jone lakše nego živa i oni se kreću ka negativnoj elektrodi (katodi). U okolini pozitivne elektrode (anode) će se zbog manjka natrijumovih jona generisati manja količina svetlosti nego u okolini negativne elektrode (ovo može dovesti do treperenja svetlosti, tzv. “flicker” efekta, naročito ako određene fasete ogledala svetiljke dobijaju svetlost samo iz određenih delova gorionika). Ako je bilo koji deo gorionika ispunjen smešom u kojoj ima previše natrijuma i premalo žive, provođenje toplote u tom delu električnog luka ka zidovima gorionika će porasti. Posledično, vreo gorionik može tokom vremena imati elektrolitičke probleme usled prisustva natrijumovih jona u jednosmernom električnom polju [13]. Upravo iz tog razloga, polaritet sijalice mora se periodično menjati (svakih 10 ms), obezbeđujući homogeno pražnjenje u osi sijalice (nije poželjno prisustvo bilo kakve komponente jednosmerne struje).

Praktično svi HID izvori su konstruisani za rad na mrežnoj učestanosti (50 ili 60Hz), ali mogu raditi i na višim frekvencijama (10-500 kHz) koje obezbeđuju elektronski balasti. O karakteristikama rada na višim frekvencijama biće više reči u delu sa elektronskim balastima.

3.1.4. UTICAJ TEMPERATURE AMBIJENTA

HID izvori nisu previše osetljivi na promene spoljne temperature iz dva osnovna razloga:

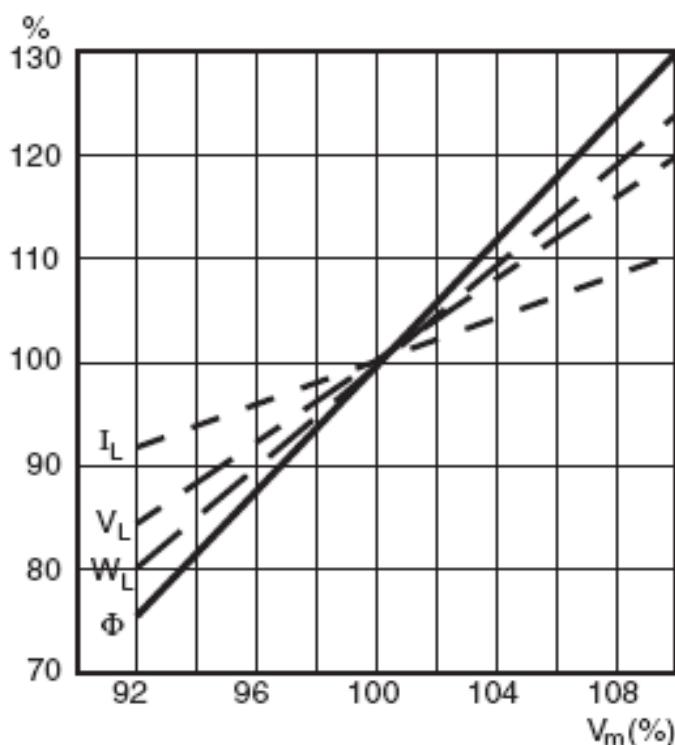
1. Kod HID izvora gorionik je smešten u spoljnom balonu (iz koga je izvučen vazduh), a sama sijalica je smeštena u zatvorenoj svetiljci, pa nema direktnog kontakta između gorionika i spoljnog vazduha.
2. HID izvori rade sa visokim temperaturama u gorioniku, pa su, u relativnom odnosu, promene temperature ambijenta male.

Pretpostavljajući da su povezani na odgovarajući balast i upaljač, svi HID izvori mogu raditi i na niskim temperaturama (do -20°C), a natrijumovi izvori visokog pritiska i do -50°C [2]. U praksi ne postoji velika razlika u svetlosnom fluksu sijalica u temperaturnom opsegu od -20 do +40°C [2]. Naravno, vreme zagrevanja sijalica će biti duže na nižim temperaturama. Za svetiljke namenjene spoljnom osvetljenju obično se uzima da je maksimalna temperatura ambijenta 35°C. Temperatura u svetiljci može porasti i usled neredovnog čišćenja svetiljki (protektor ili optika), kada usled zaprljanja deo svetlosti ne može da napusti svetiljku. Ovo može imati i negativan uticaj na životni vek, naročito kod natrijumovih i metal halogenih izvora.

3.1.5. UTICAJ FLUKTUACIJA NAPONA

Reakcija natrijumovih izvora visokog pritiska na fluktuacije napona mreže je drugačija od ostalih tipova HID izvora visokog pritiska - oni jedini imaju izrazito strmu pozitivnu naponsko-strujnu karakteristiku sijalice (slika 13), što znači da se napon sijalice značajno menja sa promenama mrežnog napona. Kod živinih i metal-halogenih izvora napon sijalice veoma malo varira sa promenama mrežnog napona, dok kod natrijumovih izvora niskog pritiska napon sijalice pada sa porastom mrežnog napona i obrnuto (negativna naponsko-strujna karakteristika). Druga značajna

razlika natrijumovih izvora visokog pritiska u odnosu na ostale HID izvore je da sa povećanjem broja radnih sati napon luka u sijalici raste iznad inicijalne vrednosti dok ne dostigne takav nivo da trenutna vrednost napona ponovnog paljenja postane bliska trenutnoj vrednosti napona mreže, u kom slučaju stabilnost električnog luka više nije moguća i sijalica se gasi.



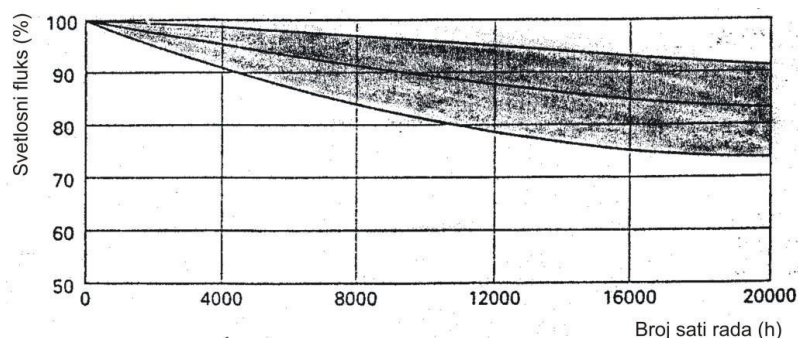
Slika 13. Uticaj varijacija napona mreže (V_m) na napon (V_L), struju (I_L), snagu (W_L) i fluks (Φ) natrijumove sijalice [14]

3.1.6. ŽIVOTNI VEK

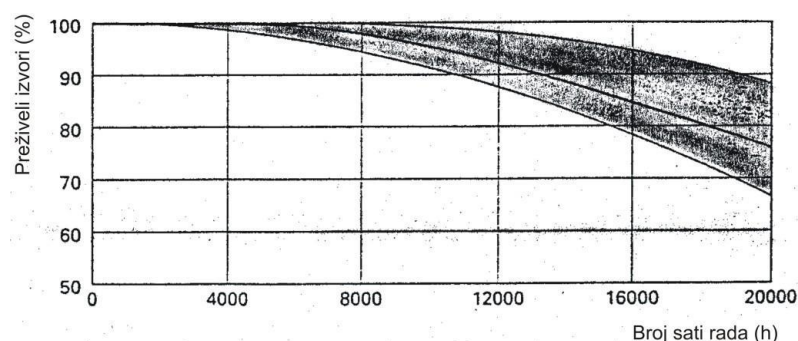
Kada je reč o životnom veku sijalica, postoji više različitih definicija [2]:

- **Tehnički vek trajanja** – broj sati rada nakon koga pojedinačni izvor pregori. U mnogome zavisi od praktičnih okolnosti, pa iz tog razloga nije od praktičnog značaja.
- **Garantovani vek trajanja** – dogovor postignut između distributera i korisnika, pri čemu su uslovi rada specificirani ugovorom.
- **Prosečan vek trajanja** – broj radnih sati u okviru kojih pregori 50% sijalica. Prosečni životni vek je obično dat od strane proizvođača sijalica.
- **Ekonomski vek trajanja** – broj radnih sati nakon koga totalni svetlosni fluks u instalaciji pod određenim uslovima padne za 30%.
- **Ekonomski vek trajanja (zasnovan na troškovima)** – broj radnih sati koji proteknu do grupne zamene izvora za koju su troškovi rada najniži, a da pritom nivo sjajnosti u instalaciji ne padne ispod specificiranog minimalnog nivoa.

Glavni razlog za opadanje svetlosnog fluksa leži u zatamnjenju cevi sijalice usled nagomilavanja čestica sa elektroda (volframa i emisionog sloja [2]). Zatamnjenje je izazvano razlaganjem tankog sloja materijala kojim su obložene elektrode, koji se zatim taloži na unutrašnjem zidu cevi. Životni vek izvora svetlosti može se odrediti na osnovu dva kriterijuma: vremena za koje svetlosni fluks padne za usvojeni procenat (slika 14) i vremena za koje pregori usvojeni procenat izvora svetlosti (slika 15).

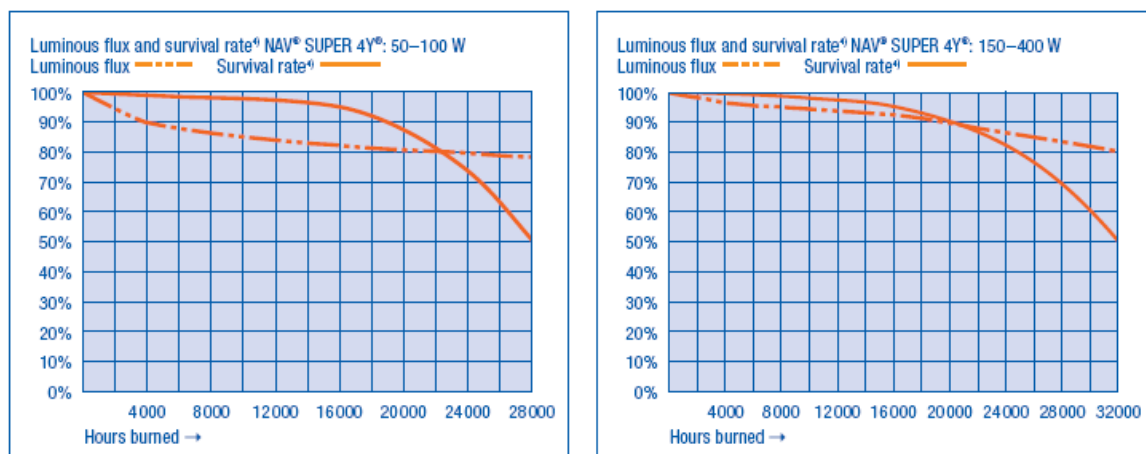


Slika 14. Procentualno opadanje svetlosnog fluksa standardnih natrijumovih izvora visokog pritiska tipa SON-T Plus (Philips) [15]



Slika 15. Procenat nepregorelih standardnih natrijumovih izvora visokog pritiska tipa SON-T Plus (Philips) [15]

Pošto se u javnom osvetljenju vrši zamena rano pregorelih izvora svetlosti, ekonomski je neopravdano da procenat izvora svetlosti koji pregore pre grupne zamene bude veći od 10-15%. Isto tako se uzima da dozvoljeno opadanje svetlosnog fluksa izvora ne treba da bude veće od 20-30% (najčešće se uzima da ova vrednost iznosi 20%). Na osnovu prethodno rečenog može se zaključiti (posmatrajući srednju krivu na dijagramima 14 i 15) da životni vek jednog natrijumovog izvora svetlosti tipa SON-T Plus nije manji od 16000h pre grupne zamene izvora, ali se iz razloga sigurnosti usvaja upravo ova vrednost. Ova analiza ima za cilj da ispita najnepovoljnije uslove (naravno, uvažavajući određene standarde kvaliteta opreme, ali i njenu cenu), a sa slike 16 može se videti da neki od najnovijih izvora (konkretno, sijalice serije Vialox® NAV® (SON) Super 4Y® proizvođača OSRAM) imaju i bolje karakteristike od usvojenih. Ukoliko se primene prethodno navedeni kriterijumi za određivanje životnog veka, sijalice ovakvog tipa mogu raditi i do 22000h (za snage 150-400W).



Slika 16. Opadanje fluksa i procenat nepregorelih natrijumovih izvora visokog pritiska tipa Vialox® NAV® (SON) Super 4Y® proizvođača OSRAM [16]

3.2. ELEKTROMAGNETSKA OPREMA – princip rada i karakteristike

Rad HID svetlosnih izvora značajno zavisi od karakteristika korišćene predspojne opreme. Predspojna oprema obavlja više različitih funkcija [2]:

- Ograničava i stabilizuje struju sijalice (neophodna mera zbog negativne naponsko-strujne karakteristike HID izvora – sa povećanjem struje smanjuje se napon sijalice). Praktično, ona stabilizuje struju paljenja (starta) sijalice na njenu nominalnu vrednost.
- Obezbeđuje neprekidan rad sijalice uprkos činjenici da 2 puta tokom svakog ciklusa mrežnog napona (učestanost 50Hz, trajanje ciklusa 20ms) postoje dva prolaska kroz nulu („zero crossing“). Sijalica se efektivno gasi prilikom svakog prolaska kroz nulu, a prigušnica pomaže u ponovnom paljenju obezbeđujući naponski impuls u trenutku prolaska kroz tačku nulte struje sijalice.
- Obezbeđuje napon (viši od normalnog radnog napona) potreban da se izazove proces paljenja (pražnjenja između elektroda sijalice). Ovo balast radi sam ili u kombinaciji sa upaljačem.
- U normalnom radnom režimu preuzima vektorsku razliku između napona mreže i radnog napona (napona gorenja) sijalice [8].

Pored navedenih osnovnih funkcija, predspojna oprema mora da ispuni još neke, ne manje značajne uslove. Mora da:

- obezbedi dovoljno visok faktor snage,
- ograniči harmonijska izobličenja mrežne struje,
- smanji elektromagnetske smetnje (EMI) koje mogu nastati u sistemu sijalica-balast i uticati na rad druge elektronske opreme,
- ograniči struju kratkog spoja i struju paljenja sijalice u cilju zaštite elektroda sijalice od preopterećenja, i
- održava napon, struju i snagu sijalice u okviru specificiranih vrednosti tokom varijacija mrežnog napona.

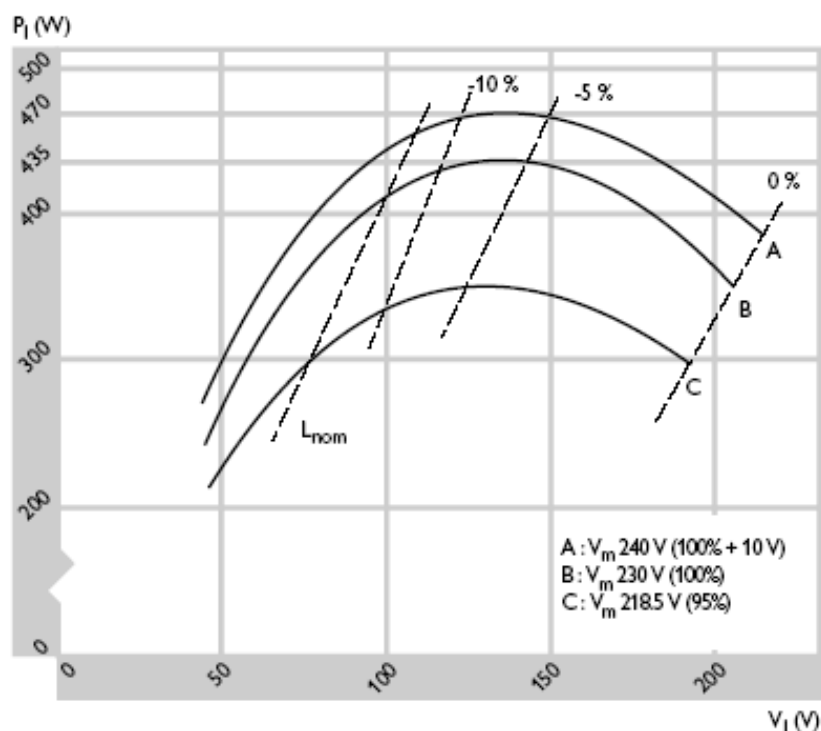
Postoji i treća grupa uslova koji su posledica podudarnog zahteva proizvođača svetlosnih izvora i kupca: da predspojna oprema bude malih dimenzija, dugog životnog veka, malih gubitaka i beznačajnog nivoa buke.

Kao što je u prethodnom poglavlju rečeno, da bi se struja sijalice ograničila u trenutku paljenja i perioda stabilizacije i dovela na nominalnu vrednost, na red sa sijalicom neophodno je vezati pasivni električni element koji ima pozitivnu naponsko-strujnu karakteristiku (zbog negativne naponsko-strujne karakteristike svetlosnog izvora). Praktično, to znači da bi se sa sijalicom na red mogli vezati otpornik, kondenzator ili kalem (prigušnica) određene induktivnosti. Zbog velikog gubitka aktivne snage izbegava se upotreba otporničkog balasta kao elementa za ograničenje struje sijalice u naizmeničnim kolima. Kondenzator se takođe ne preporučuje zbog velikih naponskih špiceva (a posledično i velikih špiceva u talasnom obliku struje sijalice), koji nepovoljno utiču na proces paljenja, razaraju elektrode i smanjuju trajnost sijalice. Treba reći da se na visokim frekvencijama (preko 10 kHz) kondenzator može koristiti kao balast (npr. u kolima elektronskih balasta) pre nego prigušnica, koja je bolje rešenje za mrežnu frekvenciju od 50 Hz. Iz prethodno nabrojanih razloga, najčešće se u praksi sa HID sijalicom redno vezuje induktivni balast (prigušnica) u cilju obezbeđivanja praktično konstantne struje sijalice, čime se obezbeđuje njen

stabilan rad (struja se održava konstantnom, a ne napon sijalice). Upotrebom induktivnog balasta umesto rezistivnog (otpornika) smanjuju se aktivni gubici u električnom kolu sijalice.

3.2.1. STABILIZACIJA RADA

Induktivni balast (prigušnica) praktično predstavlja jedan "elektromagnetski amortizer" koji reaguje na sve promene napona mreže i promene fizičkih veličina samog izvora. Savršena stabilizacija rada sijalice ne postoji sa standardnim elektromagnetskim balastima, pa je iz tog razloga neophodno znati granice u kojima se menja snaga sijalice (npr. kada se određuje maksimalna snaga neke instalacije). Važno je reći da je stabilizacija snage sijalice, tj. ograničavanje njenih mogućih varijacija, od najvećeg značaja za njen optimalan rad i zato je neophodno znati opseg u kojem snaga sme da varira. Postoje dva načina da se to utvrdi, putem dijagrama na slikama 17 i 18. Dijagram na slici 17 zapravo daje odnos između napona i snage sijalice za datu prigušnicu (tj. za datu impedansu prigušnice), a za tri različite vrednosti mrežnog napona (nominalni napon (230V), 95% nominalnog napona (218.5V) i napon viši za 10V od nominalnog (240V)) [2]. Svaki proizvođač balasta pruža informaciju o tim karakteristikama. Na slici 17 mogu se videti te karakteristike zajedno sa istim karakteristikama sijalice za 4 različita slučaja data isprekidanim linijama. Prva linija sleva je označena sa ***L_{nom}*** i predstavlja napon i snagu sijalice nakon 100h rada. Linija ***0%*** daje vrednosti napona i snage sijalice iznad kojih rad sijalice nije više moguć. Ova linija se zove i *linija gašenja* i određuje vrednosti napona sijalice za 3 različite vrednosti mrežnog napona pri kojima sijalica počinje ciklično da se pali i gasi. Mrežni napon nije stabilan i može da se iznenada smanji za 5 ili 10% vrednosti, a sa njim se smanjuje i vrednost napona gašenja. Linije ***5%*** i ***10%*** daju napone gašenja za te situacije. Radna tačka HID sijalice leži na mestu preseka odgovarajućih linija balasta i sijalice. Kako se napon natrijumovih izvora visokog pritiska povećava tokom vremena, stvarna linija sijalice će se pomeriti udesno od inicijalne. To znači da će se u električnom kolu sijalice radna tačka pomeriti duž linije balasta tokom radnog veka sijalice. U zavisnosti od toga koliko je napon sijalice porastao (objašnjeno u prvom pasusu na sledećoj strani), snaga sijalice će se najpre povećati, a posle nekog vremena ponovo smanjiti.



Slika 17. P-U karakteristike izvora i balasta za tipičnu 400W prigušnicu, za mrežni napon 230V [2]

Granice u kojima radna tačka mora ostati da bi rad sijalice bio zadovoljavajući date su tzv. kvadrilateralnim (trapezoidalnim) dijagramom, koji je prikazan na slici 18 za slučaj natrijumovog izvora visokog pritiska snage 150W, gde su:

B_{nom} – linija balasta za nominalni mrežni napon

B_{+5} – linija balasta za skok napona od 5%

B_{-5} – linija balasta za pad napona od 5%

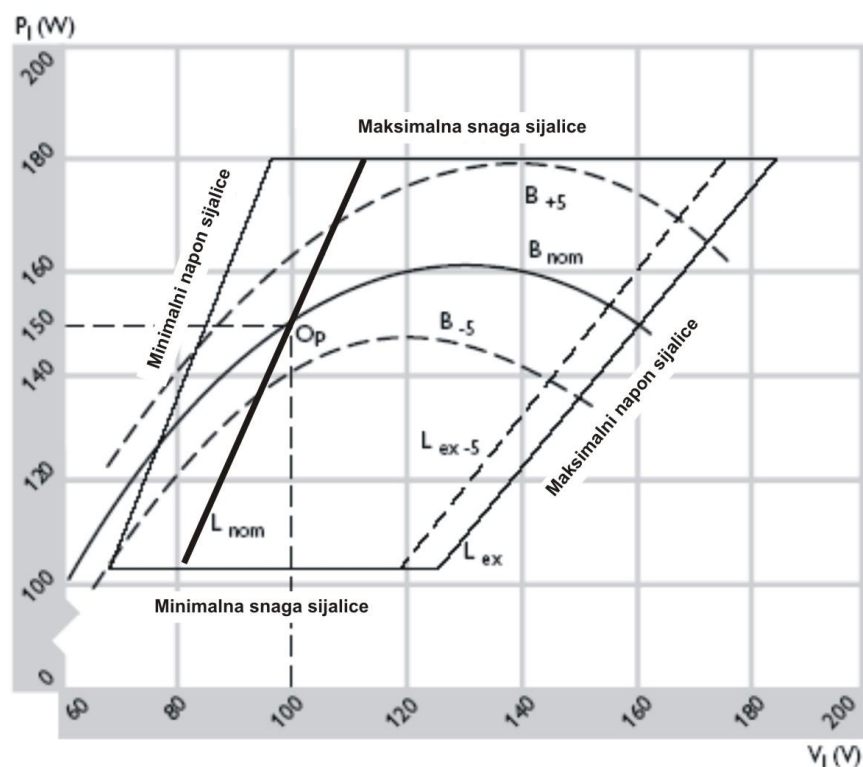
L_{nom} – linija sijalice za nominalne radne uslove

L_{ex} – linija sijalice za maksimalni napon sijalice (linija gašenja)

L_{ex-5} – linija gašenja za pad napona od 5%

OP – radna tačka (OperatingPoint)

Gornja granica definiše maksimalnu dozvoljenu snagu disipiranu u sijalici za koju je broj radnih sati (životni vek) sijalice u prihvatljivim granicama. Donja granica (minimalna dozvoljena snaga disipirana u sijalici) obezbeđuje prihvatljiv svetlosni fluks i zadovoljavajuće vreme predgrevanja elektroda. Leva granica definiše minimalni dozvoljeni napon sijalice i ujedno predstavlja prvu liniju (P-U karakteristiku) sijalice. Ova linija nije toliko kritična, ali ostajanjem u datim granicama može se indirektno sprečiti protok velike struje kroz sijalicu. Desna granica takođe predstavlja liniju sijalice i definiše maksimalni dozvoljeni napon sijalice iznad koga će se sijalica ugasiti (pregoreti). Uzimajući u obzir moguće fluktuacije mrežnog napona, može se reći da će sijalica raditi pravilno u prethodno navedenim granicama. Da bi se izbegle neželjene varijacije svetlosnog fluksa kao posledice fluktuacija mrežnog napona, napon sijalice ne bi smeo da bude veći od približno polovine vrednosti mrežnog napona (100 do 130V), a impedansa balasta treba da bude što je moguće više linearna. Sa dijagrama se takođe vidi da se stabilna radna tačka sistema nalazi u preseku B_{nom} i L_{nom} , za napon sijalice od 100V i njenu snagu od 150W. Proizvođač balasta treba da obezbedi da varijacije mrežnog napona ni pod kakvim okolnostima ne dovedu do toga da linija balasta pređe donju ili gornju granicu kvadrilateralnog dijagrama.

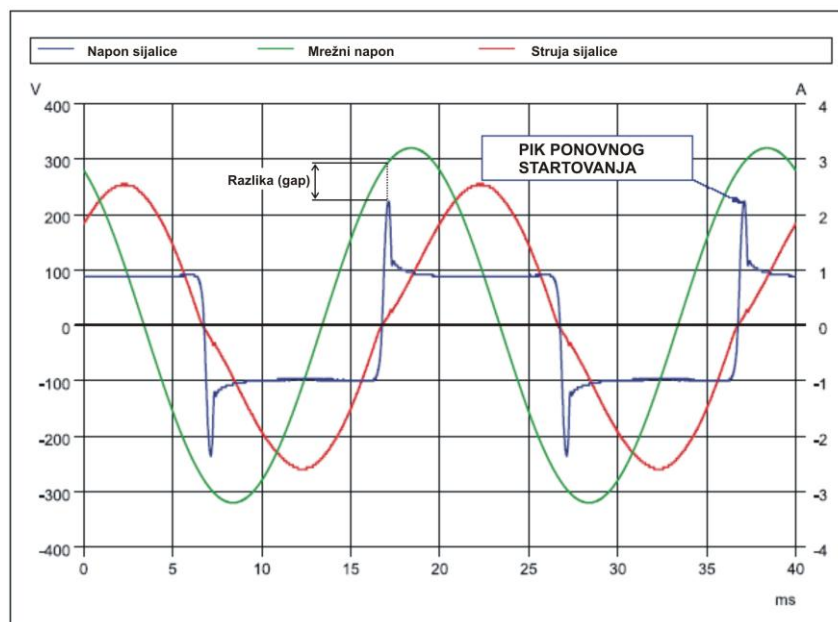


Slika 18. Kvadrilateralni dijagram za natrijumov izvor 150W [2]

Postoji još jedna interesantna stvar u vezi sa radom HID izvora. Struja sijalice je sinusoidalnog oblika sa frekvencijom od 50 Hz, kao i mrežni napon. Teoretski, kada nema protoka energije (struja prolazi kroz nulu – slika 19) sijalica prestaje sa radom i treba ponovo da startuje. Ipak, u praksi se sijalica ne gasi prilikom prolaska struje kroz nultu vrednost, i to zato što razlika u fazi φ između mrežnog napona i napona sijalice usled prisustva induktivnog elementa (prigušnice) u kolu obezbeđuje da vrednost mrežnog napona ne bude nula u trenutku prolaska struje sijalice (balasta) kroz "zero crossing" tačku.

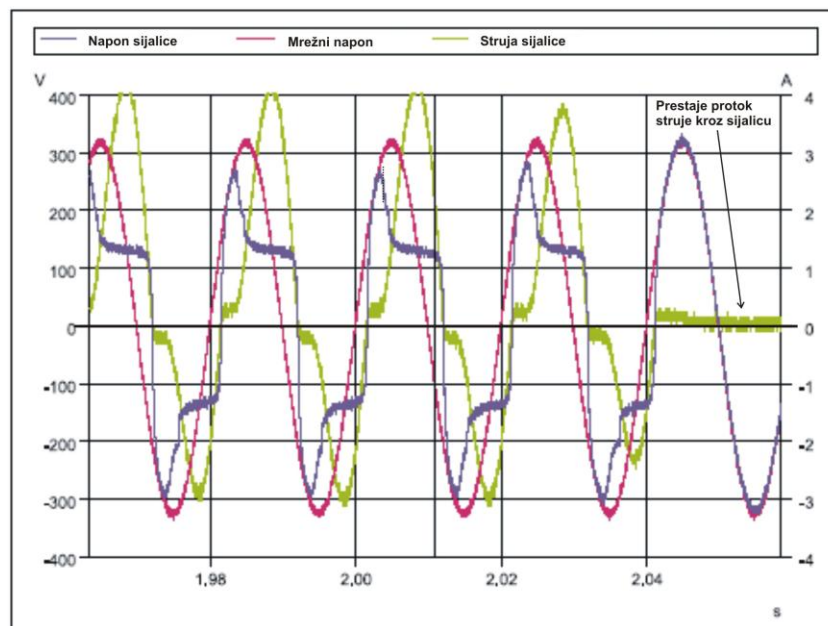
Praktično, prigušnica dvaput u toku svakog ciklusa ponovo startuje sijalicu i ograničava struju kroz nju. Pošto se struja kroz prigušnicu ne može trenutno promeniti (inercija magnetskog polja), na prigušnici i dalje postoji mali napon. Stoga, u trenutku prolaska struje kroz nulu, mrežni napon umanjen za napon na prigušnici (ali i dalje viši nego u stabilnom radu sijalice) trenutno se prenosi na sijalicu. Taj viši napon (predstavljen pikom na slici 19) obezbeđuje ponovnu jonizaciju ohlađene plazme (ona se zagreva i njena provodnost ponovo raste) i protok struje.

Pošto napon sijalice raste tokom vremena (kod natrijumovih izvora ne manje od 2V na 1000h rada [2]), razlika između mrežnog napona i napona sijalice (slika 19) se smanjuje. Ta razlika obezbeđuje pravilno startovanje sijalice u trenutku prolaska struje kroz nulu.



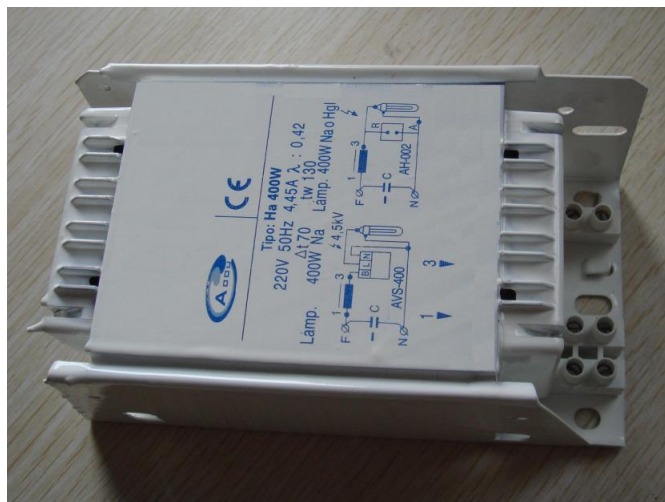
Slika 19. "Zero-crossing" tačka [17]

Na kraju ona postaje toliko mala (praktično se sav mrežni napon prenosi na sijalicu) da ne može da obezbedi ponovno "zero-crossing" startovanje i sijalica se gasi (slika 20). Ta razlika zapravo predstavlja napon na prigušnici i što je on niži, manja je i struja koju indukuje prigušnica. Pošto indukovana struja nije dovoljna da obezbedi stabilan rad sijalice, ona se ciklično gasi, hladi, ponovo startuje i ponovo gasi kada dostigne radni napon (na slici 20 se vidi da on može porasti do 130V, dok je na početku rada (slika 19) iznosio manje od 100V). Ovo ciklično startovanje i gašenje sijalice izaziva povećano trošenje materijala elektroda, što na kraju dovodi do njenog pregorevanja. Druga neželjena posledica je treperenje svetlosti, posebno izraženo u zoni periferijskog vida [2].



Slika 20. Smanjena naponska razlika otežava ponovno paljenje [17]

Najčešće korišćeni tipovi induktivnih balasta su prigušnice (slika 21) i koriste se kada je napon mreže dovoljan da obezbedi startovanje i stabilan rad izvora. Ovo je najjednostavniji, najekonomičniji tip balasta, a samim tim i najčešće korišćen u tehnici osvetljenja. Prigušnice proizvode nešto veće gubitke nego kondenzator, ali i daju mnogo manje izobličenje struje sijalice na frekvenciji od 50 Hz. Pored toga, u kombinaciji sa upaljačem mogu davati visokonaponske impulse za startovanje izvora. U praksi, prigušnica predstavlja klasičan elektromagnetski kalem koji se sastoji od velikog broja namotaja bakarne žice i laminiranog gvođenog (čeličnog) jezgra, a radi na principu samoindukcije.



Slika 21. Klasična elektromagnetska HID prigušnica [3]

Samoindukcija kalema ograničava priraštaj struje kroz gas i, posledično, snagu koju sijalica može da „povuče” pre nego što struja promeni smer. Sijalica se pali i gasi sa svakom promenom smera struje i nikada ne propušta više struje nego što može da „izdrži”. Impedansa prigušnice mora biti tako izabrana da odgovara mrežnom naponu i frekvenciji, tipu sijalice i njenom naponu, a sve u cilju obezbeđivanja željene vrednosti struje sijalice. Toplotni gubici koji su posledica omske otpornosti namotaja i histerezisa u jezgru značajno zavise od mehaničke konstrukcije prigušnice,

kao i od prečnika i dužine bakarne žice. Najvažnija veličina za stabilan rad električnog kola sijalice je impedansa prigušnice koja se definiše za određeni mrežni napon, frekvenciju i struju stabilizacije (nominalnu struju sijalice). Prigušnice se mogu koristiti za rad svih vrsta HID izvora uz ispunjen uslov da je mrežni napon barem dvaput veći od napona luka sijalice. Ako je mrežni napon prenizak, treba koristiti druge tipove predspojnih kola (autotransformatore sa rasipnim poljem ili CW (Constant Wattage) balaste (balaste konstantne snage).

Prednosti prigušnica su:

- Gubici snage su manji u poređenju sa otporničkim balastima.
- Kolo je jednostavno, jer je prigušnica redno vezana sa sijalicom.

Mane prigušnica su:

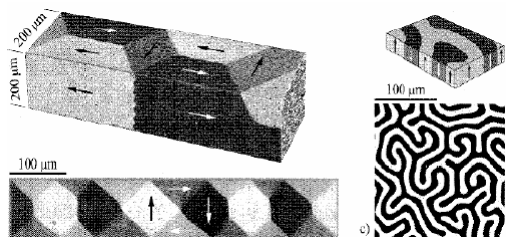
- Struja sijalice fazno zaostaje za mrežnim naponom, što rezultuje niskim faktorom snage (oko 0.5 ind). Ovo se rešava dodavanjem kompenzacionog kondenzatora u kolo sijalice.
- Velika polazna struja, koja je približno 1.5 puta veća od nominalne struje.
- Osetljivost na promene napona – varijacije mrežnog napona izazivaju varijacije u struji sijalice (promena napona od $\pm 5\%$ izaziva promenu snage sijalice od $\pm 12\%$, slika 13).

3.2.2. TOPLOTNI GUBICI

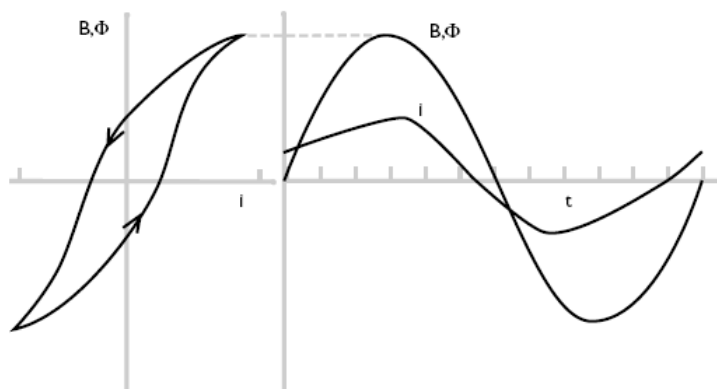
Gubici u prigušnici su posledica gubitaka u bakarnim namotajima i gubitaka u gvozdenu jezgru usled histerezisa. Gubici u bakru zavise od struje balasta i dužine i prečnika bakarne žice ($P_{cu} = RI^2$). Ukoliko dođe do povećanja napona mreže (a posledično i povećanja struje), gubici koji rastu sa kvadratom struje mogu biti značajni i uticati na dodatno zagrevanje prigušnice. Ako se struja kroz prigušnicu poveća usled kratkog spoja u bakarnim navojcima ili zemljospoja, u prigušnici može doći do smanjenja impedanse i magnetskog zasićenja. U tom slučaju struja naglo raste, zagrevanje prigušnice postaje kritično i ona za veoma kratko vreme pregoreva, a često dolazi i do pregorevanja sijalice. Gubici usled histerezisa nastaju kao posledica prisustva feromagnetskog materijala (gvožđa) u spoljnom magnetskom polju izazvanom proticanjem električne energije. Magnetni dipoli feromagnetika imaju tu osobinu da teže da se usmere u pravcu linija magnetskog polja. Pošto je magnetsko polje promenljivo u vremenu (naizmenična struja), stalno kretanje magnetnih dipola za vreme njihovog procesa usaglašavanja smera sa linijama magnetskog polja dovodi do trenja (frikcije) između molekula (slika 22). Molekularno trenje kao posledicu ima generisanje toplote i energetske gubitke. Na slici 23 data je histerezisna kriva (B-H karakteristika, gde je B magnetska indukcija (gustina magnetskog fluksa), a H jačina magnetskog polja). Na apscisi se nalazi H (na slici 23 levo stoji I, a struja je direktno srazmerna sa jačinom magnetskog polja H), dok se na ordinati nalaze gustina magnetskog fluksa B i magnetski fluks Φ koji su direktno srazmerni. Površina histerezisne petlje zapravo daje veličinu gubitaka u gvožđu usled histerezisa, a zajedno sa gubicima usled vrtložnih struja daje ukupnu magnetsku otpornost prigušnice. Može se reći da se tokom opisivanja histerezisnog ciklusa feromagnetski materijal zagreva usled pretvaranja dela dovedene električne energije za obezbeđivanje željene vrednosti jačine magnetskog polja, u toplotu. Na desnoj slici date su vremenske promene B(Φ) i H(I). Gubici u histerezi su dati empirijskom formulom [18]:

$$P_h = 150.7 \cdot V_e \cdot f \cdot B_m^{1.6}, \quad (4)$$

u kojoj je V_e zapremina gvođenog jezgra, f učestanost a B_m maksimalna magnetska indukcija.



Slika 22. Usmerenja domena sa magnetnim dipolima [18]

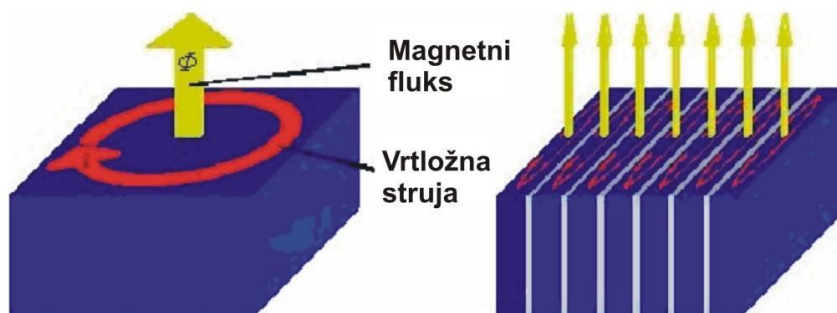


Slika 23. Histerezisna kriva [18]

Dalje, kada magnetsko polje menja smer, u gvođenom jezgri se indukuje napon poznatiji kao *vrtiložni napon* (*eddy voltage*), što posledično dovodi do cirkulacije vrtiložnih struja u jezgri. Takođe, linije fluksa koje povezuju namotaje bakra prolaze i kroz jezgro u kome se posledično indukuje električna struja (slika 24). Vrtiložne struje zagrevaju jezgro, što dovodi do toplotnih gubitaka u njemu. Gubici usled vrtiložnih struja mogu se izraziti empirijskom formulom [18]:

$$P_v = 1.65 \cdot V_e \cdot B^2 \cdot f^2 \cdot t^2 / r, \quad (5)$$

u kojoj je V_e zapremina gvođenog jezgra, B magnetska indukcija, f učestanost, t debljina gvođenih limova i r otpornost materijala jezgra. Može se jasno videti da i gubici usled histerezisa i gubici usled vrtiložnih struja zavise od mrežne učestanosti (ili od njenog kvadrata). Mrežna učestanost u praksi nije podložna većim promenama, ali se one ipak povremeno dešavaju (periodi velikog opterećenja generatora u električnim centralama). Iako promena učestanosti mreže ne utiče u toj meri na sijalicu (može da radi u širokom frekventnom opsegu), ona itekako utiče na vrednost impedanse balasta i kompenzacionog kondenzatora. Ukoliko se učestanost smanjuje, dolazi do preopterećenja mreže i pada faktora snage (impedansa balasta se smanjuje, posledično rastu struja i snaga sijalice, što dovodi do daljeg smanjenja učestanosti). Ako učestanost raste, sijalica je podopterećena i ponovo dolazi do pada faktora snage (impedansa balasta se povećava pa se smanjuju struja i snaga sijalice, a impedansa kompenzacionog kondenzatora se smanjuje). Na osnovu svih prethodno pobrojanih razloga, neophodno je da *učestanost mreže ne varira više od $\pm 5\%$ u odnosu na nominalnu*.



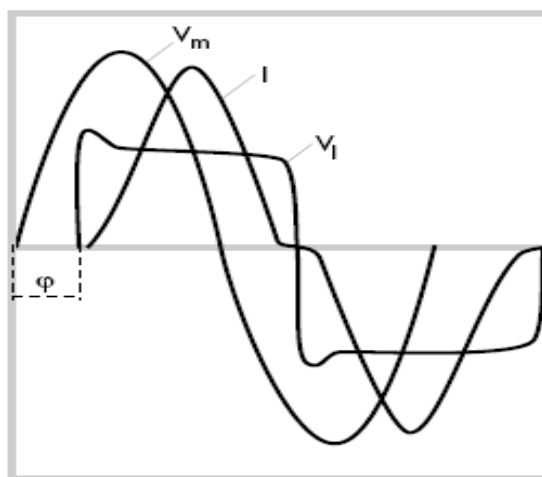
Slika 24. Vrtiložne struje [18]

Gubici u gvožđu zavise od količine, kvaliteta i debljine limova i veličine magnetske indukcije. Za manje gubitke u prigušnici potrebno je više gvožđa i veći presek bakarne žice. To čini prigušnicu većom, težom i skupljom, ali i "hladnijom". Iz tog razloga proizvođač balasta mora da pronađe kompromis između aktivnih gubitaka, porasta temperature (sopstveno zagrevanje prigušnice $\Delta\Theta$), zapremine balasta i njegove cene. Stvarna temperatura namotaja zavisi od hlađenja okoline, materijala površine na koju se montira, načina montiranja, strujanja vazduha i ventilacije. Iz tog razloga je nemoguće predvideti stvarnu temperaturu namotaja bez direktnog merenja na terenu. Aktivni gubici u balastu se uglavnom prilažu kao "hladni gubici", tj. oni koji se imaju na temperaturi ambijenta od 25°C. U praksi će prigušnica dostići naznačenu temperaturu (obično 70°C) i u tom slučaju je otpornost bakarnih namotaja 25% veća nego u hladnom stanju. Na osnovu praktičnih iskustava dolazi se do veoma značajnog podatka za ovu analizu - *realni gubici u prigušnici mogu biti 10-30% veći od hladnih gubitaka (na temperaturi od 25°C) koje daje proizvođač!*

3.2.3. HARMONIJSKA IZOBLIČENJA

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. Strujni harmonici dalje generišu naponske harmonike u skladu sa Omovim zakonom. Može se reći da harmonik predstavlja sinusoidalni doprinos određene učestanosti ukupnim periodičnim oscilacijama sistema (one jesu periodične, ali ne i harmonijske, jer se izraz *harmonijske* odnosi samo na sinusoidalne promene). Svaka periodična promena se matematički može predstaviti pomoću više sinusoidalnih (harmonijskih) funkcija, gde svaki od pojedinačnih sabiraka (Furijeova analiza, slika 9) predstavlja jedan harmonik.

U konkretnom slučaju, sijalica predstavlja nelinearno opterećenje i to prouzrokuje nastanak harmonika u struji sijalice. Razlog za to je talasni oblik napona sijalice koji je približno pravougaoni i menja polaritet u svakoj polovini ciklusa (slika 25). Ovo je grafički prikazano na slici 9, gde je pravougaoni oblik napona sijalice predstavljen osnovnim sinusoidalnim talasom mrežnog napona i velikim brojem harmonika. Pošto je napon na prigušnici vektorska razlika mrežnog napona i napona na sijalici, harmonici nastali u sijalici pojavljuju se i u naponu prigušnice. Pošto prigušnica određuje struju u kolu, postojaće samo neparni harmonici u struji sijalice (struja sijalice je neparna i simetrična u odnosu na polovinu periode, pa prema teoriji [19] i objašnjenju datom u dodatku (strana 139) postoje samo neparni harmonici).



Slika 25. Pravougaoni napon sijalice V_I [2]

Drugi razlog prisustva viših harmonika u struji sijalice je ciklus histerezisa koji predstavlja krivu magnećenja gvozdenog jezgra. Sa slike 23 može se odrediti rezultujuća struja za svaki napon na prigušnici na osnovu odnosa napona i struje prigušnice (B-H karakteristika, pri čemu je B srazmerno sa naponom, a H sa strujom). Može se zaključiti da čak i za savršeno sinusoidalni napon na prigušnici postoje harmonici u struji prigušnice, ali ipak neznatni u poređenju sa onima koje generiše sijalica. Impedansa prigušnice raste sa višim frekvencijama, pa je u praksi dovoljno posmatrati samo neparne harmonike do sedmog. Praktične vrednosti date su procentima u odnosu na vrednost osnovnog harmonika [2]:

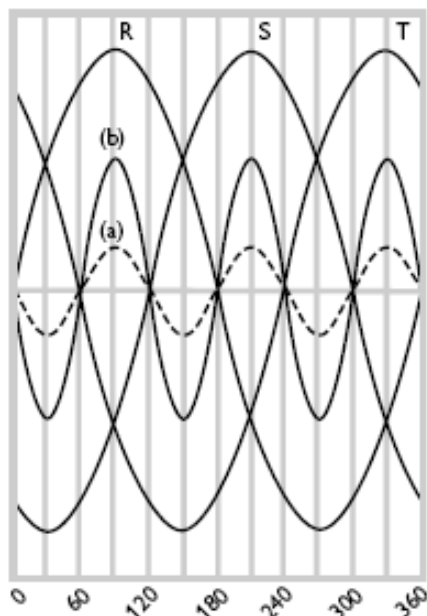
Osnovni harmonik: 100%
Treći harmonik: 10%
Peti harmonik: 3%
Sedmi harmonik: 2%
Deveti i viši harmonici: 1% ili manje

Kada napon mreže sadrži harmonike, ove vrednosti se mogu promeniti, ali prigušnica sprečava osetnija povećanja. Prema standardu IEC 61000-3-2, za opremu za osvetljenje čija ulazna snaga prelazi 25W, maksimalni procenat harmonika napojne struje iznosi [2]:

Drugi harmonik: 2 %
Treći harmonik: $30 \times PF$ %, gde je PF faktor snage kola
Peti harmonik: 10%
Sedmi harmonik: 7%
Deveti harmonik: 5%
 $11 \leq n \leq 39$: 3%

Svi balasti renomiranih proizvođača su u saglasnosti sa ovim standardom. Da bi se održao dobar faktor snage (0.9), najčešće se koriste paralelno vezani kondenzatori. Efektivna struja mreže se u tom slučaju smanjuje gotovo za polovinu vrednosti, što posledično udvostručuje udeo svih harmonika u ukupnoj struji (THD se određuje kao odnos efektivnih vrednosti svih harmonika i osnovnog harmonika, čija se vrednost u slučaju kompenzovanog kola smanjuje). Ipak, i u ovakvom slučaju ne postoji problem da se ispune svi zahtevi standarda. Mnogo je opasnije to što za više frekvencije kondenzator ima manju impedansu, čija je posledica velika osetljivost struje kondenzatora na harmonike mrežnog napona.

U analizi harmonijskih izobličenja, posebno treba obratiti pažnju na trofazni sistem napajanja (sa zajedničkim neutralnim provodnikom). Kroz neutralni provodnik protiče struja koja predstavlja vektorski zbir faznih struja. U ujednačenom trofaznom sistemu osnovni harmonici faznih struja se potiru, ali su zato treći, deveti i petnaesti harmonik u fazi pa se njihove vrednosti sabiraju (slika 26). Krivom (a) na slici 26 predstavljen je treći harmonik fazne struje, a kriva (b) pokazuje koliko se povećava udeo harmonika u slučaju trofaznog sistema. Može se očekivati da kroz neutralni provodnik protiče struja koja je najmanje $3 \times 20 = 60\%$ vrednosti fazne struje, dok u slučaju nesimetričnog opterećenja faza ova struja može porasti do vrednosti više od vrednosti fazne struje.



Slika 26. Osnovni i treći harmonik u trofaznom sistemu [2]

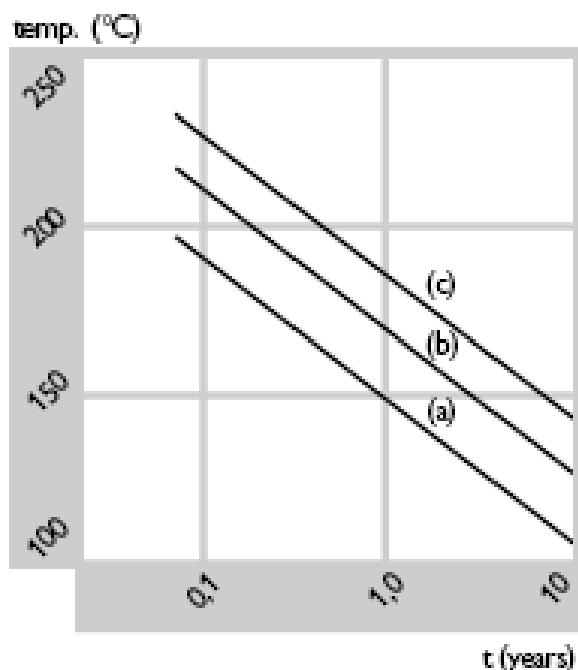
Iz tog razloga, presek neutralnog provodnika mora biti isti kao i za fazne provodnike. Prethodno navedena ograničenja vrednosti viših harmonika su validna samo ukoliko mrežni napon ima neznatno izobličen sinusoidalni talasni oblik. Prema standardima IEC 61000-3-3 [2], ukupno harmonijsko izobličenje (THD faktor) mrežnog napona je ograničeno na 2% od vrednosti osnovnog harmonika. U praksi se, međutim, dešavaju i veća izobličenja mrežnog napona, pa se prema Evropskim normama EN 50160 [2] definišu granične vrednosti uz uslov da *ukupno harmonijsko izobličenje ne bude veće od 8%*!

Drugi harmonik:	2 %
Treći harmonik	5%
Četvrti harmonik	1%
Peti harmonik:	6%
Sedmi harmonik:	5%
Deveti harmonik:	1.5%

THD: **< 8%**

3.2.4. ŽIVOTNI VEK PRIGUŠNICA

Kao svi električni uređaji, i prigušnica stvara toplotu usled omske otpornosti i magnetskih gubitaka. Za električni balast najvažnija je temperatura izolacije namotaja, a njena maksimalna dozvoljena vrednost naznačena je na balastu i označava se sa T_w (windings – namotaji). Temperatura T_w zavisi od materijala (sa lakom) od koga je napravljena izolacija. Ukoliko je radna temperatura prigušnice ispod te vrednosti, može se očekivati da prigušnica ima svoj očekivani vek trajanja. Uobičajena dozvoljena vrednost temperature namotaja T_w iznosi 130°C , što zapravo predstavlja maksimalnu srednju temperaturu namotaja (koriste se prigušnice temperaturne klase izolacije F i H). Pod standardnim uslovima (nominalni napon i učestanost mreže), prosečan životni vek prigušnice iznosi 10 godina u slučaju neprekidnog rada pri kome je postignuta maksimalna temperatura namotaja T_w . Proizvođači navode [2, 14] da se u slučaju porasta temperature za 10°C iznad propisane vrednosti T_w može očekivati da se životni vek prigušnice prepolovi (slika 27). Ukoliko je, npr., radna temperatura za 20°C viša od propisane vrednosti, može se očekivati neprekidan rad prigušnice od 2.5 godine.



Slika 27. Nominalni radni vek prigušnice u zavisnosti od maksimalne radne temperature namotaja T_w i izolacionog materijala [2]:

- (a) Klasa A: $T_w = 105^{\circ}\text{C}$
- (b) Klasa E: $T_w = 120^{\circ}\text{C}$
- (c) Klase F ili H: $T_w = 130^{\circ}\text{C}$

Pošto prigušnica u realnim uslovima ne radi neprekidno (svetiljke rade 11h dnevno u proseku), može se očekivati da ona ima veoma dugačak životni vek. Empirijski je ustanovljeno da taj vek može da iznosi i do 50 godina, ali u najvećem broju slučajeva *radni vek se kreće između 20 i 30 godina*. Ako vrednost temperature namotaja T_w nije naznačena na balastu, uzima se temperatura od 105°C . Druga vrednost koja je naznačena na balastu je dozvoljeni porast temperature prigušnice (sopstveno zagrevanje prigušnice), ΔT . On predstavlja razliku između apsolutne temperature balasta T_c i temperature ambijenta u standardnim radnim uslovima, pri čemu se ova vrednost najčešće kreće između 50°C i 70°C (standardno se uzima 60°C). Merenja ove temperature se vrše u skladu sa metodom koja je opisana u IEC publikaciji 60922 (EN 60922) [2]. Porast temperature namotaja se određuje merenjem omske otpornosti hladnih i zagrejanih bakarnih namotaja, korišćenjem formule [2]:

$$\Delta T = [(R_2 - R_1) / R_1] \cdot (234.5 + T_1) - (T_2 - T_1) \quad (6)$$

ili formule

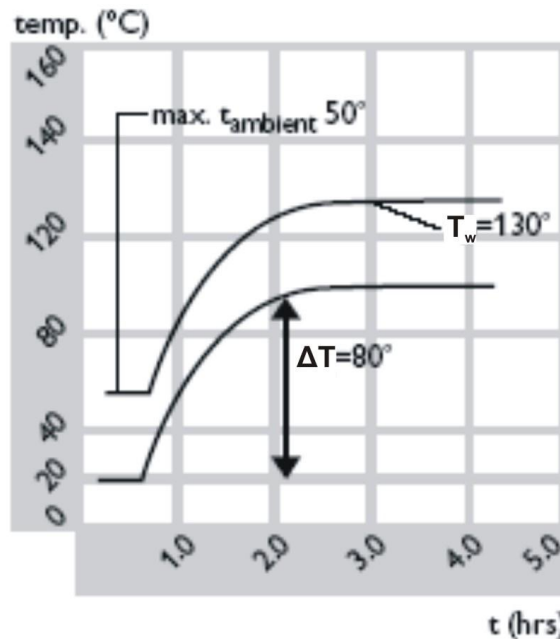
$$\Delta T = R_2 / R_1 \cdot (T_1 + 234.5) - 234.5 \quad (7)$$

(prema IEC 10598-1 Dodatak E),

u kojima su: R_1 – inicijalna (hladna) otpornost prigušnice na početku merenja (Ω), R_2 – topla otpornost prigušnice na kraju merenja (Ω), T_2 – temperatura ambijenta prilikom merenja otpornosti R_2 ($^{\circ}\text{C}$), T_1 – temperatura ambijenta prilikom merenja otpornosti R_1 ($^{\circ}\text{C}$), T_c – izmerena vrednost temperature prigušnice ($^{\circ}\text{C}$) na kraju merenja, $\Delta T = T_c - T_2$ – sopstveno zagrevanje prigušnice (K). Broj 234.5 se odnosi na bakarnu žicu, dok u slučaju aluminijumske žice treba koristiti broj 229.

Temperatura ambijenta nije temperatura prostorije ili spoljne sredine, već temperatura mikro-okruženja prigušnice. Pošto je prigušnica ugrađenu u svetiljku ili zasebno kućište, temperatura vazduha oko nje je viša nego spoljna temperatura ambijenta. Dodavanjem temperature mikrookruženja prigušnice vrednosti sopstvenog zagrevanja prigušnice ΔT , dobija se vrednost apsolutne (stvarne) temperature balasta $T_c = T_2 + \Delta T$ (slika 28).

Sa slike 28 se može videti da je potrebno neko vreme (skoro 3h) da se, pri temperaturi ambijenta od 50°C , dostigne termička ravnoteža u prigušnici, tj. deklarisanе vrednosti za T_w (130°C) i ΔT (80°C) pri kojima je moguć neprekidan rad prigušnice od 10 godina. Ukoliko je temperatura ambijenta viša od maksimalne dozvoljene (a posledično i stvarna temperatura T_c), životni vek prigušnice se smanjuje.



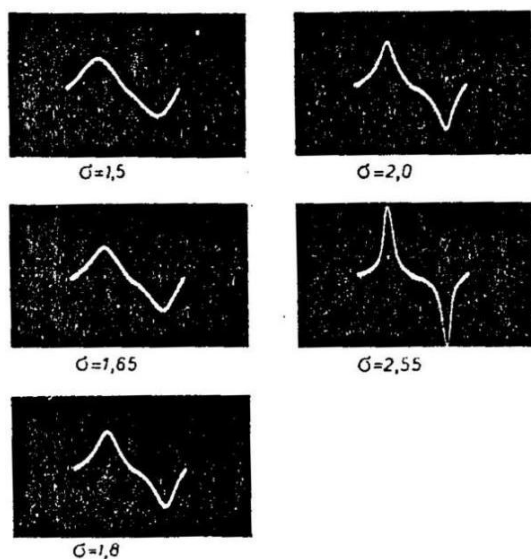
Slika 28. Odnos T_w , ΔT i apsolutne temperature prigušnice [2]

Jedan od najvažnijih faktora koji utiču smanjenje životnog veka sijalice je tzv. temeni faktor struje prigušnice (faktor talasnog oblika - *crest factor*). On predstavlja odnos maksimalne i efektivne struje u kolu. U slučaju da je struja savršenog sinusoidalnog talasnog oblika, ovaj faktor iznosi [8]:

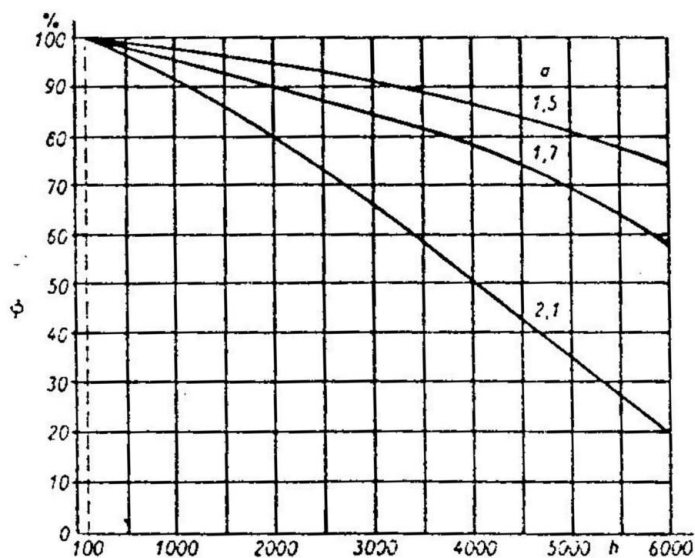
$$\sigma = \frac{I_{\max}}{I_{ef}} = \frac{I_{ef} \cdot \sqrt{2}}{I_{ef}} \approx 1.41 \quad (8)$$

Dobra prigušnica treba da daje što je moguće sinusoidalniju struju da bi njena maksimalna vrednost bila što manja. Tada je naprezanje elektroda (katoda) sijalice minimalno, a struja u kolu se nalazi u normalnim granicama. U slučaju visokog temenog faktora struje, produžava se isparavanje elektroda i kao prateća pojava tamnjenje gorionika u periodu stabilizacije. Talasni oblici struje prigušnice sa raznim vrednostima temenog faktora dati su na slici 29.

Koliko je visoki temeni faktor nepovoljan za održavanje svetlosnog fluksa sijalice može se videti na slici 30. U konkretnom primeru, nakon 5000h rada sijalice sa prigušnicom temenog faktora 1.5 daju 82% inicijalnog svetlosnog fluksa, dok one koje su radile sa prigušnicom temenog faktora 2.1 daju samo 35% inicijalnog svetlosnog fluksa. O značaju temenog faktora (faktora talasnog oblika) biće reći i u delu koji se bavi elektronskim balastima.



Slika 29. Dijagrami oblika struje i vrednosti temenog faktora σ [8]



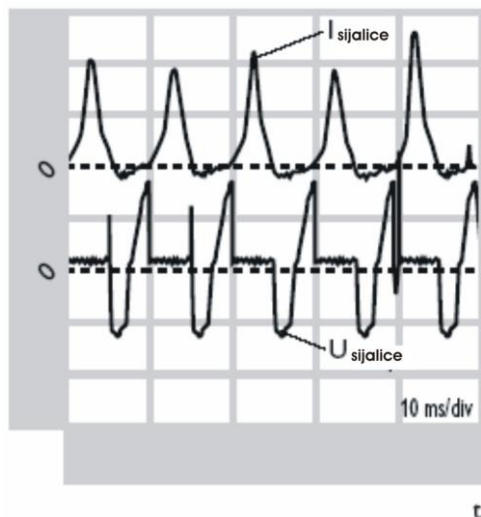
Slika 30. Relativna zavisnost fluksa sijalice od temenog faktora σ [8]

3.2.5. EFEKAT ISPRAVLJANJA (RECTIFYING EFFECT)

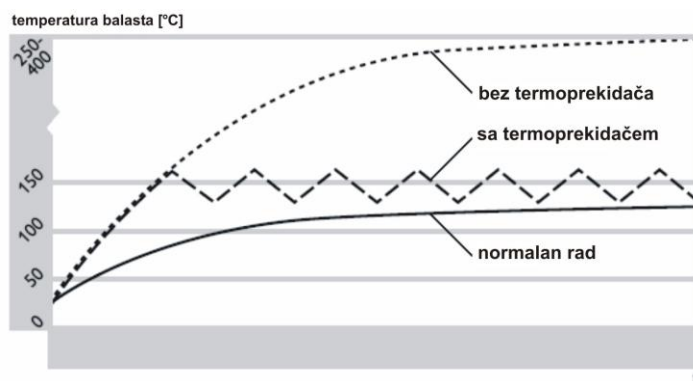
HID izvori mogu doći u stanje rada u asimetričnom strujnom režimu. Ovaj fenomen se naziva *efekat ispravljanja* (rectifying effect), a nastaje usled nepravilnog rada elektroda sijalice (npr., pri kraju životnog veka) ili u slučaju jedne oštećene elektrode (sijalica još uvek radi). Kada je jedna od elektroda uništena, naizmenična struja postoji samo tokom polovine ciklusa (tokom jedne poluperiode). U drugoj polovini ciklusa praktično ne postoji struja u drugom smeru (slika 31), pa se struja sijalice može tretirati kao jednosmerna struja. Ona je velike vrednosti (značajno veće od nominalne struje balasta), jer je ograničena samo otpornošću bakarnog namotaja prigušnice (reaktivni deo praktično ne postoji u DC režimu rada). Ovo rezultuje daljim porastom struje, a posledično i ubrzanim zagrevanjem balasta. Ukoliko se ne preduzmu odgovarajuće mere, velika struja će izazvati rapidni porast temperature namotaja bakra (slika 32), sve dok na kraju izolacioni sloj namotaja ne bude uništen, a balast dođe u kratak spoj.

Opisani fenomen se javlja u svim HID izvorima, a posebno je primetan tokom startovanja sijalice (tada je efekat očekivan i kratkotrajan, a nastaje kao posledica različite temperature elektroda prilikom startovanja).

Efekat ispravljanja se najčešće javlja kod metal-halogenih izvora, ali se dešava i kod natrijumovih izvora za koje su zaštitne mere date u IEC 10662 standardu [2]. Najbolji način da se zaštite namotaji prigušnice je da se sklopu doda termoosigurač ili termoprekidač (slika 32). Termoosigurač može reagovati samo jednom na previsoku temperaturu balasta, nakon čega se mora zameniti osigurač, a ponekad i ceo balast. Upravo iz ovog razloga preferira se upotreba termoprekidača koji prekida napajanje čim se desi efekat ispravljanja, a zatim se automatski resetuje.



Slika 31. Efekat ispravljanja [2]



Slika 32. Efekat ispravljanja sa i bez termoprekidača [2]

3.2.6. UPALJAČI

Upaljači su uređaji koji u električnom kolu sijalice imaju samo jednu funkciju: da obezbede odgovarajući impulsni napon potreban za uspostavljanja procesa jonizacije između elektroda sijalice. U pogodnom trenutku dok sijalica još nije upaljena, upaljač dodaje (superponira) naponu mreže jedan ili više visokonaponskih impulsa potrebnih za startovanje sijalice. Kada se gas dovoljno jonizuje i u sijalici počne da se uspostavlja struja, upaljač prestaje da generiše impulsni napon, dok dalji proces startovanja i stabilizaciju struje preuzima prigušnica. Koriste se različiti tipovi upaljača u zavisnosti od veličine napona paljenja sijalice koji je različit za sve HID izvore (podsećanja radi, za natrijumove izvore ovaj napon se kreće u opsegu od 2.3 do 4.5 kV). Glavna karakteristika svakog upaljača je impulsni napon paljenja sijalice. Impulsni napon paljenja karakterišu sledeći podaci:

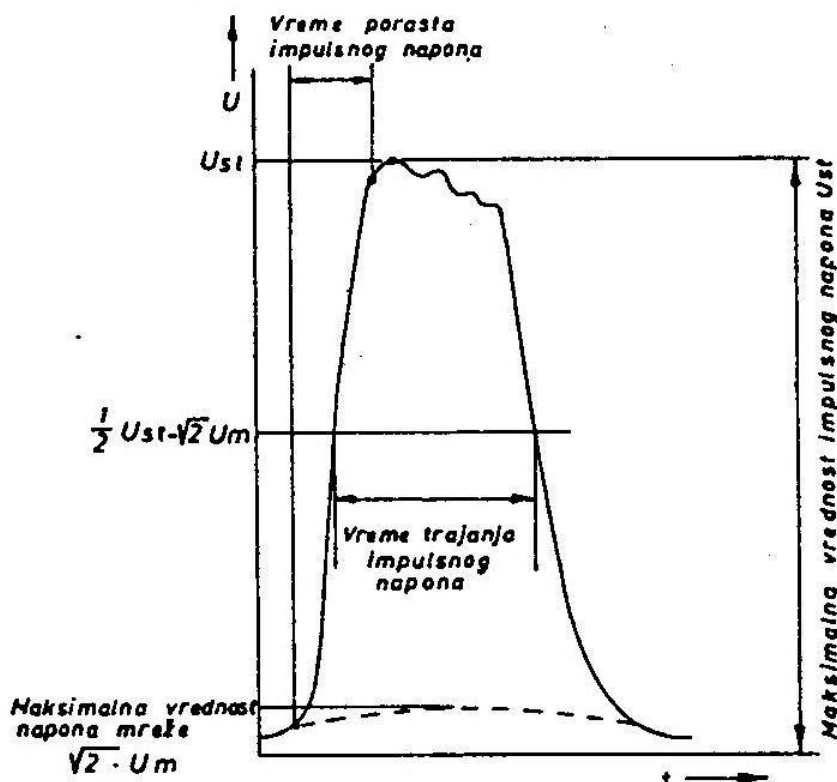
- maksimalna vrednost impulsnog napona,
- vreme trajanja impulsnog napona,
- energija impulsa,
- fazni pomeraj impulsnog napona,
- broj impulsa u periodičnoj promeni mrežnog napona,
- učestanost impulsa, i
- dozvoljeno kapacitivno opterećenje kabla.

Dijagram impulsnog paljenja i njegove glavne karakteristike prikazani su na slici 33. Kriva se može matematički približno izraziti formulom [8]:

$$U_{st}(t) = U_{stmax} \cdot \cos \omega t \cdot e^{-t/k}, \quad (9)$$

u kojoj su U_{stmax} – maksimalna amplituda impulsnog napona, ω – kružna učestanost i k – konstanta koja određuje prigušenje impulsa.

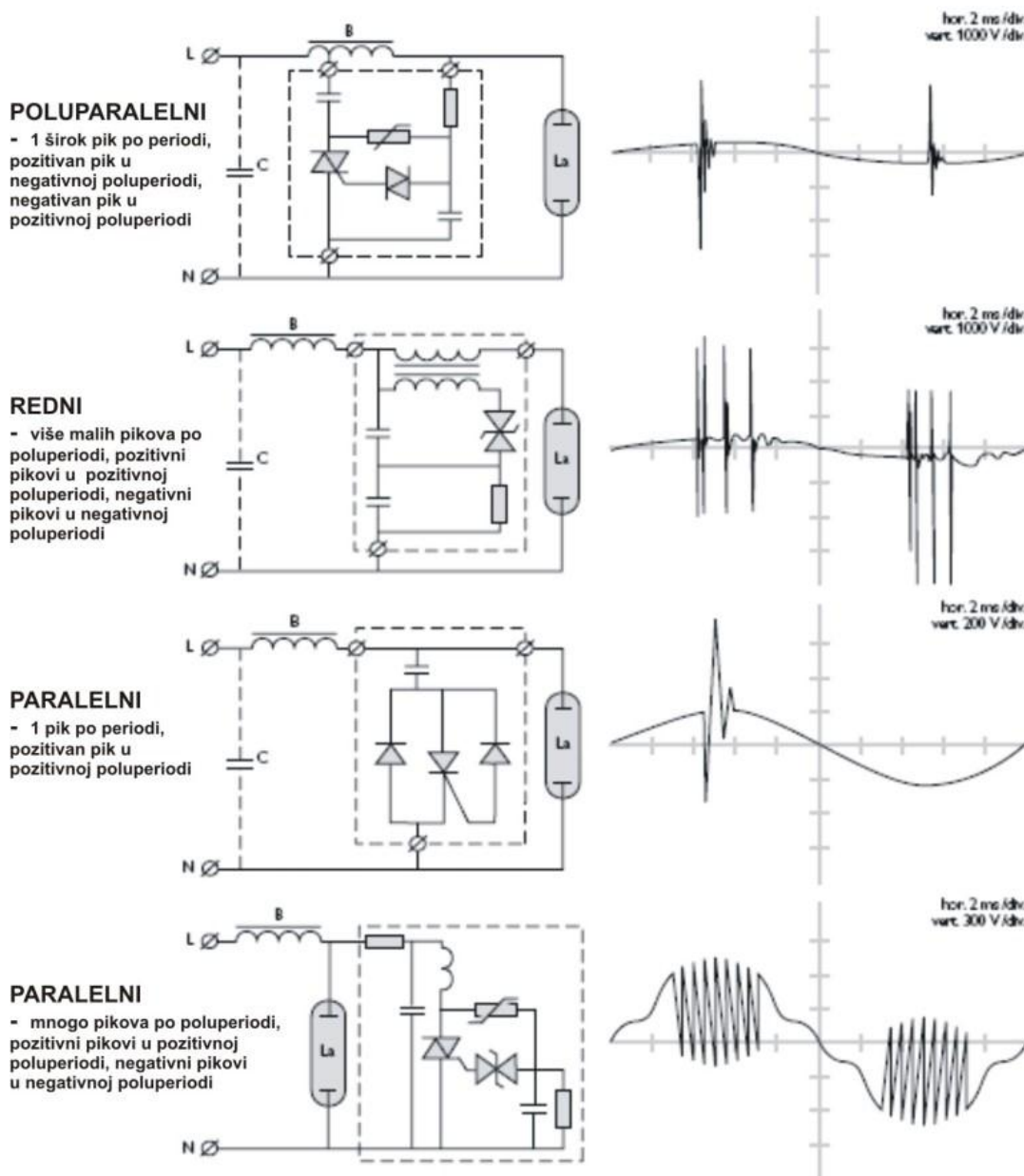
Nakon startovanja sijalice upaljač treba da prestane da proizvodi visokonaponske impulse, a to se kontroliše detekcijom vrednosti napona ili struje i/ili dodavanjem tajmera (vremenske baze) u kolo upaljača. Sem živinih izvora, koji mogu startovati bez upaljača, svi ostali HID izvori zahtevaju dodatni uređaj za paljenje, bilo kao zasebnu komponentu predspojne opreme ili kao integralni deo balasta. Među različitim tipovima upaljača, elektronski upaljači su se nametnuli kao najbolje rešenje. Princip rada je sledeći: kondenzator se prvo puni kroz diodu a zatim prazni kroz tiristor, što rezultuje generisanjem impulsa paljenja. Kod hladnog starta sijalice maksimalno dozvoljena amplituda impulsa je limitirana konstrukcijom sijalice i načinom priključivanja (sijalice sa jednim ili dva kraja). Proces paljenja sijalice počinje neposredno nakon pojave visokonaponskog impulsa. Pored amplitude i širine impulsa, broj i pozicija impulsa u odnosu na sinusoidalni mrežni napon imaju značajnu ulogu u procesu paljenja. U slučaju da su se zagrejane sijalice ugasile usled kratkotrajnog prestanka napajanja, ubrzano paljenje je moguće onog trenutka kad se izvor dovoljno ohladi. Principijelno, postoje tri tipa upaljača: poluparalelni, serijski i paralelni. Uzimajući u obzir činjenicu da detaljniji opisi rada svakog od ovih tipova nisu od značaja za predmetnu analizu, prilažu se samo šeme njihovih električnih kola i dijagrami impulsnog napona (slika 34, na kojoj su redom prikazani poluparalelni, serijski i paralelni upaljač).



Slika 33. Dijagram impulsnih napona paljenja [8]

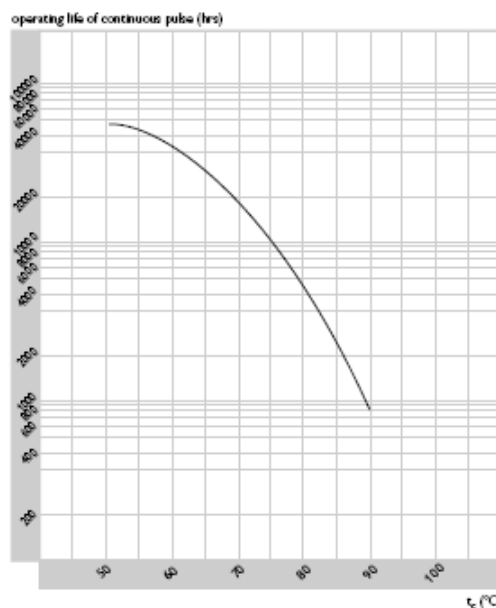
Uslovi u kojima upaljač funkcioniše su sa termičkog aspekta veoma nepovoljni (sopstveno zagrevanje svetiljke je značajno i veoma utiče na porast temperature ambijenta na mestu na kome je smeštena predspojna oprema). Ako komponente koje se ugrađuju u upaljač ne mogu trajno izdržati otežane temperaturne uslove, u svetiljci će veoma brzo doći do njihovog oštećenja i

prekida rada upaljača. Najveće naponsko opterećenje komponenti u upaljaču javlja se u momentu prekida ili isključenja napona mreže. U prigušnici se tada javljaju veliki naponski pikovi koji, potpomognuti zaostalim naponom na kompenzacionom kondenzatoru, mogu dostići velike vrednosti za koje komponente u upaljaču nisu dimenzionisane. Prevelika vlaga i kondenzacija takođe mogu oštetiti upaljač.



Slika 34. Šeme veza i dijagrami impulsnih napona upaljača [2]

U normalnim uslovima upaljač zapravo radi samo nekoliko ciklusa svakog dana, kada se instalacija javnog osvetljenja pušta u rad. Temperatura kućišta upaljača je u tom trenutku jednaka temperaturi ambijenta pa je pod ovim uslovima dnevno trajanje rada upaljača zanemarljivo (manje od sekunde dnevno – slika 35) [2]. Čak i ako se svetiljke isključe tokom svakog dana, potreban je samo 1 minut da sijalica ponovo startuje. Uzimajući najgori slučaj temperature kućišta upaljača od 90°C, upaljač će godišnje raditi samo 5h. Pošto je prosečan životni vek upaljača na temperaturi od 90°C 800h, može se očekivati veoma dug radni vek upaljača. U praksi se uzima da taj vek iznosi 20 godina.



Slika 35. Procenjeni životni vek upaljača kao funkcija temperature njegovog kućišta [2]

3.2.7. KONDENZATORI

Kondenzatori se koriste u električnim kolima sijalica za kompenzaciju reaktivne energije, odnosno za popravku faktora snage koji je u induktivnim kolima približno 0.5. Kondenzator se vezuje paralelno izvoru napajanja (mrežnom naponu) i nema uticaja na ponašanje sijalice. Vrednosti kapacitivnosti kompenzacionih kondenzatora su obično u mikrofaradima (μF), a njihovim dodavanjem u kolo obično se teži postizanju faktora snage većem od 0.9. Ako kondenzator željene kapacitivnosti nije moguće nabaviti, uzima se kondenzator sledeće više vrednosti, uz uslov da kapacitivnost nije za više od 20% veća u odnosu na vrednost dobijenu proračunom.

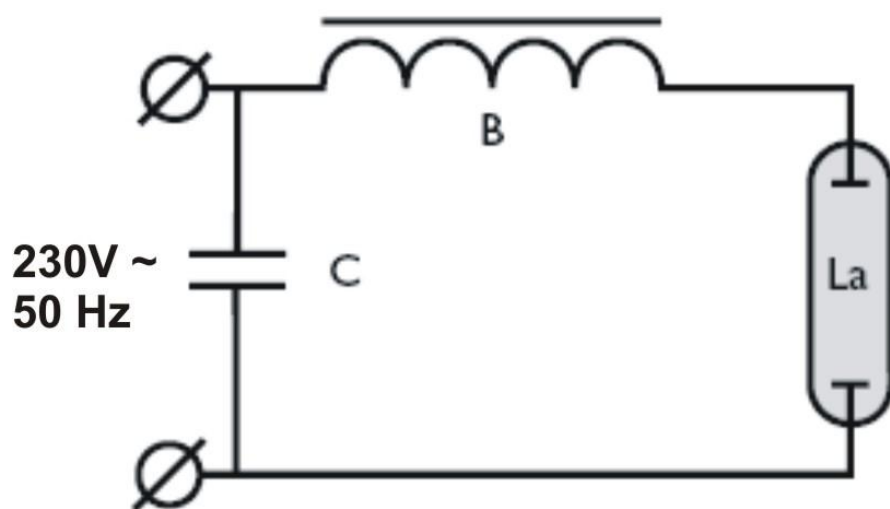
U električnim kolima osvetljenja najčešće se koriste dva tipa kondenzatora: uljni i suvi. Ulnji kondenzatori su tako konstruisani da se što je moguće više izbegne oštećenje kućišta ili curenje ulja u slučaju kvara. Kod ovakvih kondenzatora se ostavlja slobodan prostor oko terminala da se dozvoli njihovo širenje, a njihovo metalno kućište mora biti uzemljeno. U slučaju kvara u uljnom kondenzatoru neće biti uspostavljena struja (otvorena veza), što udvostručuje struju sijalice. Osigurač može da reaguje i prekine kolo, ali ne ostavlja trajne štetne posledice. Većina uljnih kondenzatora ima dozvoljenu temperaturu kućišta od 90°C. Suvi, metalizovani film kondenzatori su novijeg datuma u industriji osvetljenja, ali brzo stižu popularnost zahvaljujući njihovim kompaktnim dimenzijama i veoma lakom povezivanju u kolo sijalice. Postoje dve vrste materijala koji se koriste u procesu metalizacije: čisti aluminijum i cink. Aluminijumski kondenzatori gube kapacitivnost tokom radnog veka. Suvi kondenzatori su osetljiviji na naponske pikove od uljnih kondenzatora. U kritičnim uslovima (mrežni napon sadrži puno pikova, često paljenje i gašenje, visok stepen vlažnosti i kondenzacije), preporučuje se upotreba uljnog kondenzatora. Kućište (oklop) kondenzatora je izrađeno od metala ili plastike (na slici 36 prikazan je klasičan kondenzator sa metalnim oklopom). U oba slučaja kondenzator mora imati zaštitni uređaj koji će otvoriti električno kolo ukoliko je pritisak u kondenzatoru previsok. Za metalne kondenzatore ovo ne predstavlja problem, pa se njihova upotreba preporučuje u vlažnim ili agresivnim sredinama. Svi kondenzatori u instalacijama osvetljenja moraju imati otpornik za pražnjenje povezan duž terminala koji obezbeđuje da napon kondenzatora bude manji od 50V već 1 minut nakon prestanka mrežnog napajanja.



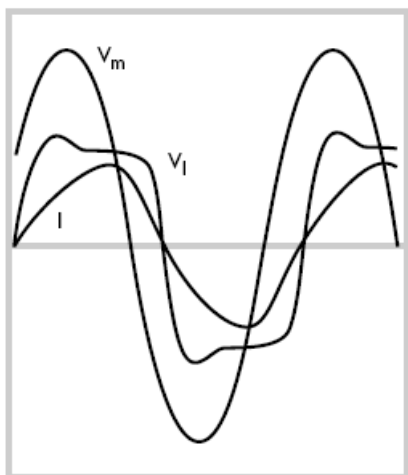
Slika 36. Kondenzator [2]

3.2.8. KOREKCIJA FAKTORA SNAGE (PFC)

U električnim kolima sa HID izvorima vrši se kompenzacija reaktivne energije radi dobijanja zadovoljavajućeg faktora snage dodavanjem paralelno vezanog kondenzatora u kolo (slika 37). Može se reći da je ovo zapravo realno električno kolo jednog HID izvora, pri čemu u kolu nije prikazan upaljač kao uređaj koji nakon startovanja izvora gubi svaku električnu funkciju.



Slika 37. Kompenzovano električno kolo sijalice [2]

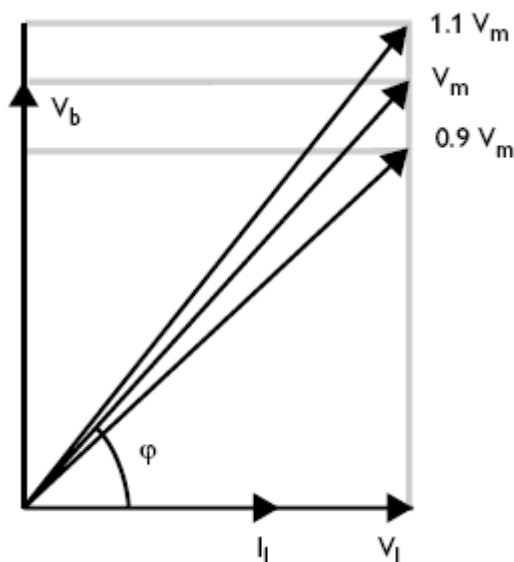


Slika 38. Talasni oblici napona (V_l) i struje (I) sijalice i mrežnog napona (V_m) [2]

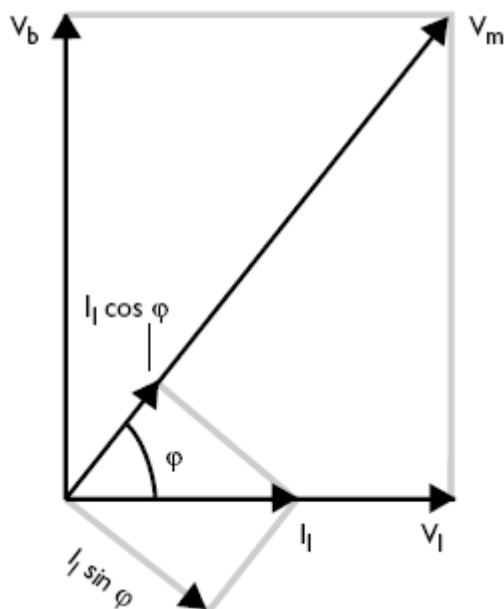
Bez prisustva kondenzatora u kolu, induktivni balast izaziva fazni pomeraj struje, koja kasni za mrežnim naponom. Ovo se može videti i na slici 38, na kojoj se vide struja i napon sijalice (I i V_l), koji su u fazi, i sinusoidalni mrežni napon. Faktor snage u električnom kolu može se izračunati odnosom ukupne aktivne i prividne snage, odnosno [2]:

$$PF = \frac{P_s + P_b}{U_m \cdot I_s} \quad (10)$$

(P_s – snaga sijalice, P_b – gubici u prigušnici (balastu), U_m – fazni mrežni napon (230V), I_s – struja u kolu sijalice). Bez kompenzacionog kondenzatora, faktor snage u kolu iznosi oko 0.5 ind. Na vektorskim dijagramima prikazanim na slikama 39 i 40 mogu se videti osnovni odnosi relevantnih električnih parametara.



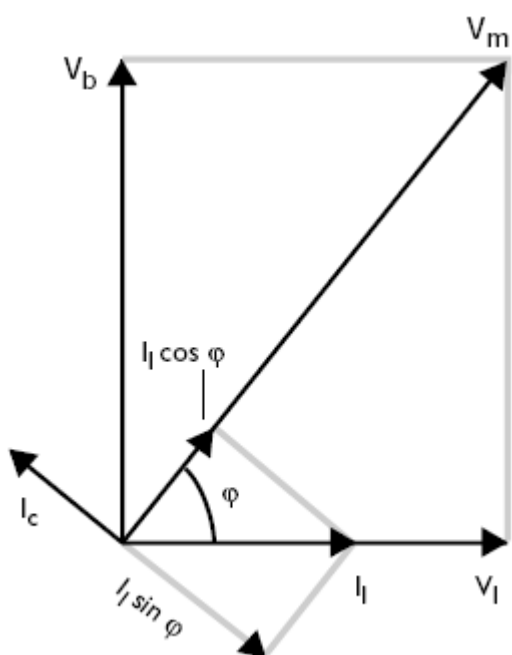
Slika 39. Vektorski dijagram električnog kola sijalice [2]



Slika 40. Nekompenzovano električno kolo [2]

Napon i struja sijalice su u fazi, dok napon balasta prednjači struji za 90° ($\pi/2$). Vektorska suma napona na sijalici i prigušnici daje vrednost mrežnog napona. Sa slike 39 se može videti da je $\cos \varphi = U_l/U_m$, što takođe predstavlja izraz za faktor snage koji je manje precizan od prethodno pomenutog, jer se odnosi samo na osnovne harmonike električnih parametara. U svakom slučaju, distributivna mreža mora da obezbedi sistemu prividnu snagu $U_m \cdot I_s$. Pošto standardna brojila beleže samo aktivnu komponentu snage ($U_m I_s \cos \varphi$), električnoj distribuciji se ne plaća za reaktivni ("slepi") deo utrošene električne energije ($U_m I_s \sin \varphi$), pa se upravo iz tog razloga insistira na kompenzaciji reaktivne energije. Faktor snage u kolu ne bi trebalo da bude manji od 0.9. Za razliku od induktivnog balasta, struja kondenzatora prednjači njegovom naponu (koji je zapravo mrežni napon) za 90° ($\pi/2$) (slika 41). Maksimalna kompenzacija se postiže kada je struja kroz kondenzator $I_c = I_s \sin \varphi$, jer je u tom slučaju faktor snage jednak jedinici. Ovo je validno samo u teoriji, jer prikazani vektorski dijagram važi samo za osnovne harmonike struja. Usled harmonijskog izobličenja struje sijalice, maksimalni praktični faktor snage je između 0.95 i 0.98 (što je zapravo posledica razlike između faktora snage i $\cos \varphi$).

Ukupno harmonijsko izobličenje (THD) definiše se kao [2]:



$$THD = \sqrt{\sum_{n=2}^{\infty} \left(\frac{I_n}{I_1} \right)^2} = \sqrt{\frac{I_2^2 + I_3^2 + I_4^2 + \dots}{I_1^2}}, \quad (11)$$

Faktor snage se može izračunati pomoću formule [2]:

$$PF = \cos \varphi / \sqrt{1 + THD^2}, \quad (12)$$

u kojoj je THD ukupno harmonijsko izobličenje struje, određeno uz pretpostavku da je THD mrežnog napona nula. Još jedna formula daje odnos faktora snage i $\cos \varphi$ [2]:

$$PF = \cos \varphi \cdot I_1 / I_{ef} \quad (13)$$

(I_1 – efektivna vrednost struje osnovnog harmonika, a I_{ef} – efektivna vrednost ukupne struje sijalice).

Slika 41. Kompenzovano električno kolo [2]

Tokom paljenja snaga sijalice raste od niske vrednosti ka stabilnoj radnoj snazi. U ovom periodu je struja sijalice veća od nominalne vrednosti. Iz tog razloga faktor snage počinje na niskoj (induktivnoj) vrednosti (0.2 – 0.3) i potrebno je nekoliko minuta da dostigne nominalnu vrednost (0.85 – 0.9) za kompenzovano kolo.

Životni vek kondenzatora zavisi on napona na kondenzatoru i temperature njegovog kućišta. Kao što je već rečeno, uobičajena maksimalna dozvoljena temperatura za uljne elektrolitske kondenzatore (još uvek najzastupljenije u tehnici osvetljenja) iznosi 90°C, a najčešće se kreće u opsegu od 85°C do 100°C (u poslednje vreme pojavili su se kondenzatori ovog tipa otporni na visoke temperature do 105°C). Maksimalna temperatura za suve film kondenzatore je viša i iznosi 105°C, ali se još uvek u praksi češće koriste uljni kondenzatori koji su manje osetljivi na više naponske nivoe. Iznad ove temperature može doći do pregorevanja kondenzatora ili smanjenja kapacitivnosti. Ukoliko se koristi u okviru specificiranih granica, može se očekivati da radni vek kondenzatora bude 10 godina (*podatak proveren u beogradskom JKP „Javno Osvetljenje“*).

3.3. ELEKTRONSKI BALASTI – princip rada i karakteristike

3.3.1. UVOD I OSNOVNI TIPOVI

Upotreba elektronskih balasta u električnim kolima sa HID izvorima relativno je novijeg datuma u tehnici osvetljenja. Koristeći iskustva i znanja stečena kroz višegodišnju primenu ovakvih balasta u radu sa fluorescentnim izvorima (od početka osamdesetih godina prošlog veka), razvijena su nova elektronska kola koja su omogućila da takvi uređaji nađu svoje mesto i u kolima sa natrijumovim izvorima visokog pritiska i metal halogenim izvorima. Ovo nije bilo lako, jer postoje bitne razlike u odnosu na fluo cevi, i to iz više razloga [2,20]:

- budući da je tržište fluo cevi mnogo veće od tržišta drugih HID izvora, sva pažnja je na početku bila fokusirana na razvoj elektronske opreme za profitabilnije tržište fluorescentnih izvora,
- fluo cevi se uglavnom koriste u zatvorenim prostorima, dok se HID izvori više koriste u spoljnom osvetljenju, što podrazumeva strožije zahteve koji se odnose na temperaturu ambijenta, vlažnost, pouzdanost rada...,
- postoji više različitih tipova HID izvora (natrijum niskog pritiska, natrijum visokog pritiska, živa, metal halogeni izvori sa keramičkim ili kvarcnim gorionikom...), sa različitim električnim karakteristikama (startovanje izvora, zagrevanje i stabilizacija rada), pa je stoga nemoguće kreirati jedno univerzalno kolo za sve takve izvore,
- snage HID izvora se kreću u opsegu od 35 do 2000W, što nameće određena ograničenja prilikom izbora elektronskih komponenti usled visokih polaznih struja i napona, i
- promene karakteristika HID izvora tokom životnog veka su mnogo kompleksnije nego kod fluorescentnih izvora (rastući napon sijalice, efekat ispravljanja, promena boje svetlosti, problemi koji nastaju pri kraju životnog veka).

I pored svega pobrojanog, očekuje se da upotreba elektronskih balasta za natrijumove izvore visokog pritiska donese korisnicima značajne prednosti i uštede u odnosu na elektromagnetsku predspojnu opremu, pre svega iz razloga bolje regulacije snage izvora svetlosti. Njihove prednosti su [2,20]:

- duži životni vek sijalice,
- poboljšan rad sijalice, koji podrazumeva:
 - smanjenje razlika u boji svetlosti na početku i tokom radnog veka
 - eliminaciju vidljivog treperenja
 - stabilnije i brže zagrevanje izvora
 - povećanu efikasnost izvora (više jonizovane plazme u električnom luku sijalice), naročito u frekventnom opsegu od 10 do 20 kHz (efikasnost raste za 9% na frekvenciji od 10 kHz [21]),
- povećana efikasnost sistema (manja potrošnja električne energije),
- manja osetljivost na promene mrežnog napona,
- manji broj komponenti u električnom kolu svetiljke, koje su pritom manjih dimenzija i težine (izraz za elektromotornu silu (izlazni napon) balasta ($U = 4 \cdot N \cdot f \cdot B_m \cdot S_{Fe}$ [22]) pokazuje da će na višim učestanostima magnetska indukcija biti manja za isti napon, što omogućava da jezgro ima manji poprečni presek i bude fizički kompaktnije, a da ne dostigne zasićenje; drugim rečima, poluperioda napona ima manju površinu),
- isti uređaj za različite vrednosti mrežnog napona (u nekim slučajevima i za širi opseg snaga izvora),

-
- jedan uređaj objedinjuje funkcije 3 komponente elektromagnetskog predspojnog sistema (upaljač, kondenzator i prigušnica),
 - u specijalnim izvedbama moguće su dodatne opcije, kao što su podešavanje nivoa osvetljenja (dimovanje), izbor temperature boje svetlosti, automatsko isključivanje u slučaju kvara,
 - manji troškovi održavanja (npr. implementacijom "telemenadžment" sistema za daljinsko upravljanje i nadzor instalacija javnog osvetljenja),
 - faktor snage blizak jedinici,
 - stabilna izlazna snaga uprkos fluktuacijama mrežnog napona, i
 - savršeni pravougaoni talasni oblik struje – produžava životni vek izvora svetlosti.

Svaka od ovih prednosti biće detaljnije opisana u daljem tekstu. Naravno, postoje i određeni problemi u radu sa elektronskim balastima, i to [2,20]:

- efikasnost balasta pada sa porastom snage izvora
- osetljivost na visoke temperature i vlagu
- osetljivost na prenaponske talase
- visoka cena
- pojava akustičke rezonancije prilikom rada na visokim frekvencijama.

Pored toga, elektronski balasti ne mogu raditi sa svim tipovima HID izvora, pa se tako za živine izvore i dalje preporučuje elektromagnetska predspojna oprema. U nekim slučajevima je povećanje efikasnosti sistema premalo da bi se kompenzovala značajno viša cena elektronskih balasta. Za izvore snage veće od 400W elektronski balasti su relativno skupi. Ipak, ovakva elektronska kola se i dalje razvijaju i očekuju se na tržištu u bliskoj budućnosti.

Laboratorijski eksperimenti [2] pokazali su da određeni tipovi HID izvora mogu postići stabilan rad samo u okviru određenih frekvencijskih opsega. Izvan tih opsega, efikasnost može opasti, može doći do kvara na elektrodama, a cev sa gorionikom može pretrpeti mehanička oštećenja usled akustičke rezonancije (o ovoj pojavi biće više reči u daljem tekstu). Elektronska predspojna oprema je iz tog razloga predviđena samo za određene tipove, a neki HID izvori mogu raditi samo sa elektronskim balastima specijalno dizajniranim za njih.

Postoji veliki broj različitih konfiguracija elektronskih kola koja se koriste za regulaciju rada HID izvora. Pre svega, to je posledica relativno zakasnele pojave elektronskih balasta za HID izvore (posebno natrijumove izvore visokog pritiska) na tržištu u odnosu na njihovu već uobičajenu upotrebu u kolima sa fluorescentnim izvorima. Tehnologija se još uvek razvija i nije ponuđen univerzalni model koji bi se primenio za sve natrijumove izvore, bez obzira na snagu izvora i njegove električne (fizičke) karakteristike. Ipak, ono što je zajedničko za sve elektronske balaste je da je njihov rad zasnovan na SwitchModePowerSupply (SMPS) tehnologiji, tj. na prekidačkoj tehnologiji [23]. Prekidački izvor napajanja je elektronski izvor napajanja u kojem tranzistori rade kao prekidači. Za razliku od linearnog izvora napajanja koji reguliše napon tako što dissipira višak energije na tranzistoru snage, prekidački izvor velikom brzinom (tipično na frekvenciji od 50 kHz do 1 MHz) prebacuje tranzistor između stanja zasićenja i zakočenja, stvarajući pravougaoni napon čija je srednja vrednost jednaka željenom izlaznom naponu. Prolaskom ovakvog pravougaonog napona kroz niskofrekventni filter, sastavljen od kondenzatora i kalemova, dobija se željeni jednosmerni napon. Glavna prednost prekidačkih izvora je njihov veliki koeficijent iskorišćenja energije (veći od 80%), jer je snaga disipacije tranzistora u režimima zasićenja i zakočenja mnogo manja nego u aktivnom režimu. Druge prednosti su manje dimenzije i težina (jer nema potrebe za velikim transformatorima), kao i manja proizvodnja toplote zbog velike efikasnosti. Nedostaci su povećana složenost uređaja i generisanje visokofrekventne energije koja može da izazove

elektromagnetske smetnje. Drugi problem koji može nastati prilikom rada sa jeftinijim prekidačkim izvorima je pojava električnog šuma usled prekidačkog rada koji može izazvati smetnje u radu audio/video opreme povezane na istu fazu. Ukoliko ne poseduje deo za korekciju faktora snage, prekidački izvor može proizvesti harmonijska izobličenja struje.

U suštini, elektronski balast predstavlja klasičan AC/AC energetski pretvarač (konvertor) koji pretvara mrežni napon u napon druge (više) frekvencije, tj. obezbeđuje naizmeničnu struju više frekvencije za rad sijalice. Upravo su frekvencija i oblik izlaznog napona pretvarača (elektronskog balasta) odlučujući u izboru odgovarajućeg tipa balasta za odgovarajući HID izvor.

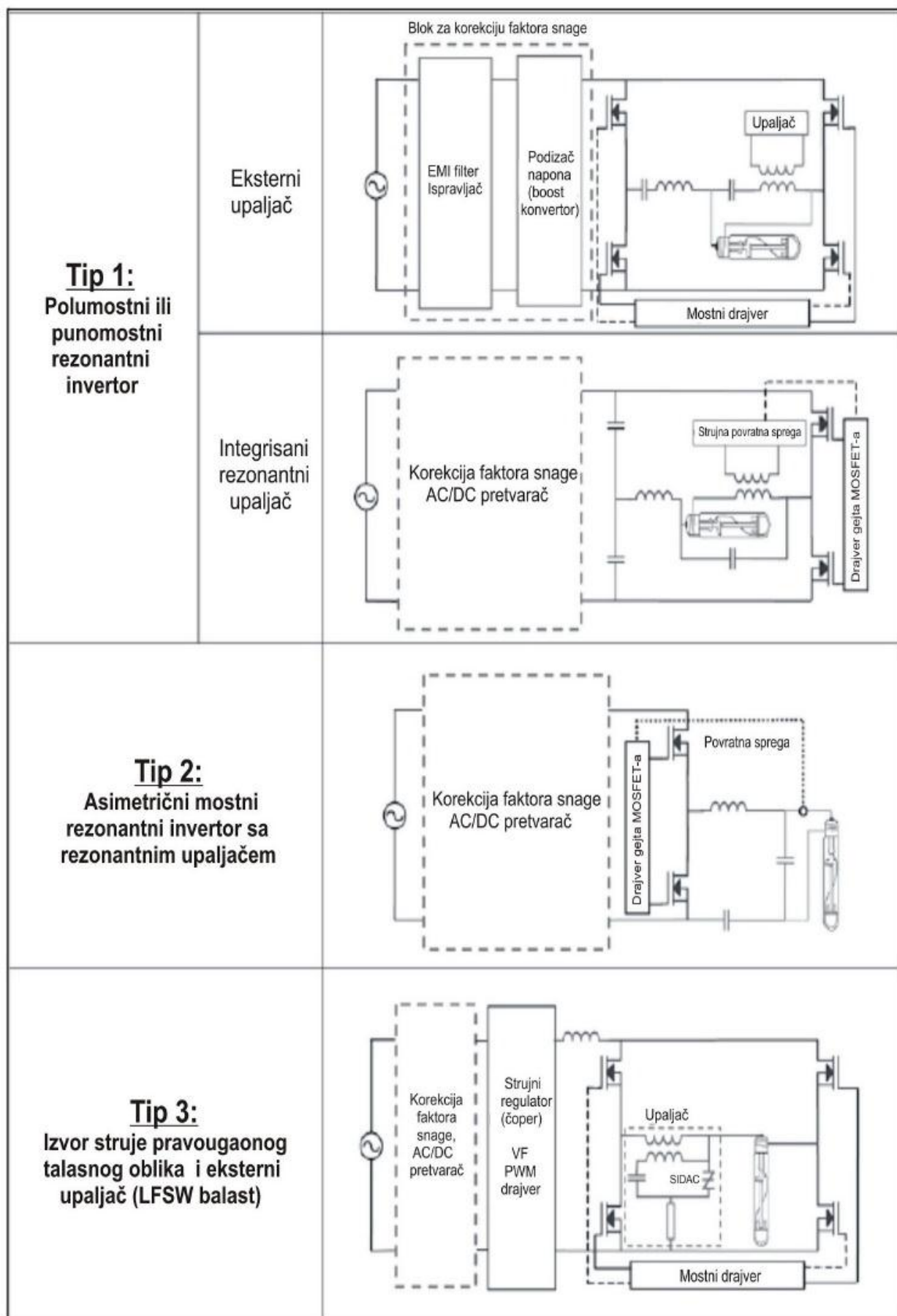
U literaturi se može pronaći veliki broj različitih tipova (arhitektura) elektronskih balasta veće ili manje složenosti, a slika 42 daje pregled osnovnih (najčešće implementiranih) topologija za natrijumove izvore visokog pritiska, uz napomenu da postoje manje razlike u arhitekturi za druge tipove HID izvora.

Tip 1 - balast sadrži rezonantni punomostni inverter sa eksternim upaljačem. Kondenzator sprečava pojavu jednosmerne komponente napona sijalice, a kalem ograničava struju sijalice. LC filter (šant) paralelno vezan sa sijalicom sprečava da ona bude izložena visokim frekvencijama u zonama u kojima se javlja AR. Balast sa integrisanim rezonantnim upaljačem (Tip 1a) sadrži polumostni LCC inverter dizajniran tako da radi na dve frekvencije. Pre nego što se upali, sijalica se može tretirati kao otvorena veza (njena električna otpornost je velika), a radna frekvencija je podešena tako da obezbedi njeno startovanje. Struja koja se detektuje u sijalici kroz mehanizam povratne sprege održava konstantnu snagu sijalice. Posle okončanog procesa paljenja, impedansa sijalice pada, a frekvencija invertora se podešava tako da se snaga sijalice održava u željenom uskom opsegu.

Tip 2 - balast sadrži asimetrični mostni LCC inverter, a njegov rad je veoma sličan onom opisanom za Tip 1 za slučaj integrisanog upaljača.

Tip 3 - balast koristi kontrolisani strujni izvor koji putem invertora generiše niskofrekventnu struju pravougaoanog talasnog oblika (strujne četvrtke). Spoljni upaljač obično koristi SIDAC (dvosmerni diodni tiristor, često korišćen u električnim kolima HID sijalica za dobijanje visokog napona). Ponašanje SIDAC-a je slično ponašanju lavinske diode: ispod određenog praga napona uređaj se ponaša kao otvorena veza, a iznad praga napona (napona proboja), SIDAC provodi i obezbeđuje putanju male impedanse kojom se prazni prethodno napunjeni kondenzator. Upravo ovaj tip i predstavlja najpouzdaniju topologiju za optimalan rad natrijumovih izvora visokog pritiska, iz razloga koji su detaljnije objašnjeni u sledećim poglavljima. Elektronski balast ovakvog tipa biće uzet u dalje razmatranje kao standardan, uzimajući u obzir činjenicu da postoje manje razlike između arhitektura koje predlažu različiti proizvođači opreme, ali ne odstupajući od osnovnog principa rada zajedničkog za zaista veliki broj predloženih arhitektura u stručnoj i komercijalnoj literaturi.

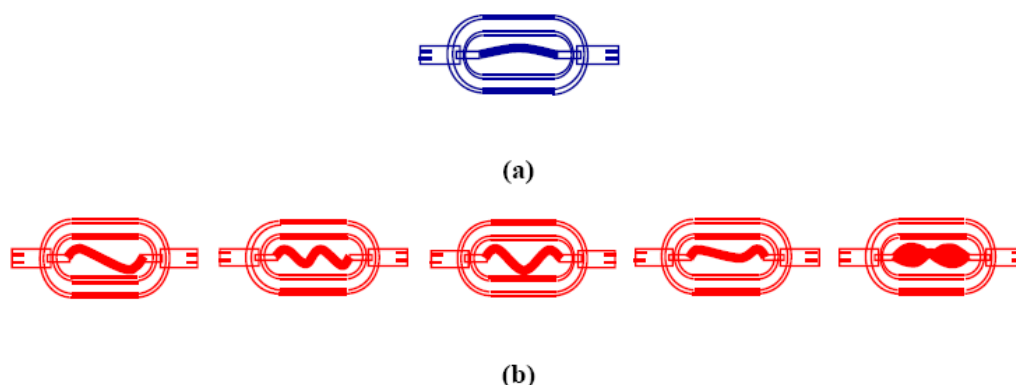
Pre nego što se pređe na detaljniji opis rada jednog tipičnog elektronskog balasta, neophodno je osvrnuti se na pojavu koja je umnogome odredila pravac u kojem će se dalje kretati razvoj elektronskih balasta za natrijumove izvore visokog pritiska.



Slika 42. Osnovni tipovi HID elektronskih balasta [24]

3.3.2. AKUSTIČKA REZONANCIJA

Upotreba visokofrekventnih elektronskih balasta može smanjiti veličinu i težinu balasta i povećati efikasnost sistema. Ipak, rad HID izvora sa visokofrekventnim strujama ograničen je usled pojave akustičke rezonancije (AR), o kojoj je prvi izvestio Kempbel [25]. Uobičajeno objašnjenje za akustičku rezonanciju je da se usled periodične promene ulazne snage javljaju fluktuacije pritiska u zapremini gasa u sijalici [26]. Ako je frekvencija snage jednaka ili bliska sopstvenoj frekvenciji HID izvora, pojaviće se putujući talasi pritiska. Ovi talasi putuju prema zidovima gorionika i odbijaju se od njih, što rezultuje nastajanjem stojećih talasa velikih amplituda. Ovaj fenomen može izazvati vidljiva izobličenja električnog luka (slika 43), što za posledicu ima fluktuacije svetlosti, varijacije u temperaturi boje, smanjeni životni vek sijalice i u nekim slučajevima pucanje gorionika HID izvora.



Slika 43. Izobličenja električnog luka usled AR: a) normalan rad b) izobličen luk usled AR [26]

Sopstvena frekvencija sijalice zavisi od geometrije gorionika, vrste gasa i njegovih termodinamičkih karakteristika (temperatura, pritisak i koncentracija gasa) [26]. Akustička rezonancija se javlja mnogo pre kod sijalica sferičnog oblika nego kod sijalica sa uskim i cilindričnim gorionicima. Budući da se termodinamičke karakteristike sijalice menjaju sa njenom starošću, AR će se takođe menjati u zavisnosti od broja radnih sati sijalice. Prisustvo AR tokom rada na visokim frekvencijama predstavljalo je veliki izazov za konstruktore elektronskih balasta. AR se javlja iz sledeća dva razloga: 1) frekvencija sijalice je unutar frekventnog opsega AR, i 2) visokofrekventna energija koja se daje sijalici veća je od energetskog praga potrebnog da se javi AR.

U cilju izbegavanja AR razvijen je veliki broj različitih topologija i metoda kontrole električnih kola balasta, od kojih će najvažnije biti predstavljene u tekstu koji sledi.

1. HID izvor radi u frekventnom opsegu u kojem se ne javlja AR

AR se obično javlja u frekventnom opsegu od nekoliko kHz do nekoliko stotina kHz, ali postoji nekoliko zona u okviru ovog opsega u kojima se ona ne javlja (slika 44).



Slika 44. Tipičan frekventni opseg u kojem se javlja AR [26]

a) Najpre se pokušalo sa DC balastom [26] u cilju izbegavanja periodičnih promena ulazne energije, a posledično i pojave AR. Ipak, rad HID izvora na jednosmernom naponu izaziva asimetrično habanje elektroda usled kataforetičkog efekta (objašnjenog u delu sa elektromagnetskim prigušnicama), što smanjuje životni vek sijalice.

b) Sijalica može raditi i u opsegu u kojem se javlja AR (teoretski od 1 kHz do 1MHz, praktično u frekventnom opsegu od 20 do 200kHz [26,27]), ali u unapred određenim frekventnim zonama u kojima se ne javlja AR (slika 44). Ipak, pošto lokacije zona u kojima se ne javlja AR zavise od geometrije gorionika i termodinamičkih karakteristika koje ne samo da variraju od izvora do izvora, nego se i menjaju tokom vremena, veoma je teško izabrati odgovarajuću radnu frekvenciju HID izvora.

c) Sijalica može raditi sa elektronskim balastom koji radi na veoma visokim frekvencijama [26], tj. na frekvencijama iznad maksimalne frekvencije opsega u kojem se javlja AR (teoretski preko 1 MHz, praktično već preko 500 kHz [26,27]). Budući da je vremenska konstanta električnog pražnjenja u sijalici (vreme potrebno da se gas jonizuje i električno pražnjenje uspostavi, ili da se električno pražnjenje prekine i gas dejonizuje – nekoliko ms) mnogo veća od vremenske konstante ulazne snage (trajanje poluperiode za frekvenciju od 500 kHz iznosi 1μs), izvor će se ponašati kao da radi na jednosmernom naponu. Problem kod elektronskog balasta ultra visokih frekvencija predstavlja činjenica da najniža vrednost frekvencije iznad koje se neće javljati AR mora biti unapred određena, kao i činjenica da rad sijalice na visokim frekvencijama izaziva elektromagnetske smetnje i velike gubitke energije (problem je prisutan već na frekvencijama višim od 100 kHz [28]).

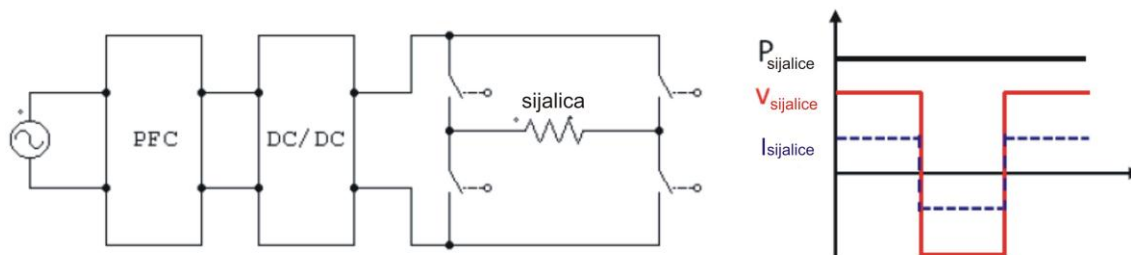
2. Visokofrekventna ulazna energija se smanjuje ispod praga nastanka AR

Modulacija radne frekvencije ili faznog ugla [26] proširiće spektar snaga sijalice i smanjiće veličinu ulazne energije u određenom frekventnom opsegu. Ovaj princip je zasnovan na detekciji AR, ne bi li se pravovremeno promenila frekvencija invertora kada se ona pojavi, sprečavajući njeno dalje prisustvo. Neke studije [27] pokazale su da ova tehnika nije efikasna kod izvora manjih snaga. Da bi se eliminisala AR, neophodna je dovoljno niska vrednost amplitude snage u čitavom spektru. To zahteva širi frekventni opseg snage zračenja izvora, što izaziva neravnomernu distribuciju spektra svetlosti i pojavu AR u drugim zonama u kojima je moguć njen nastanak. Pošto frekvencija na kojoj se javlja AR i energija pri kojoj se to dešava zavise od karakteristika sijalice, veoma je teško da se odrede frekventne zone AR. Još uvek nije dovoljno rasvetljeno kako podesiti frekvenciju u širokom rezonantnom frekventnom opsegu bez izazivanja ozbiljnih fluktuacija električnog luka.

3. Napajanje sijalice strujom pravougaonog talasnog oblika

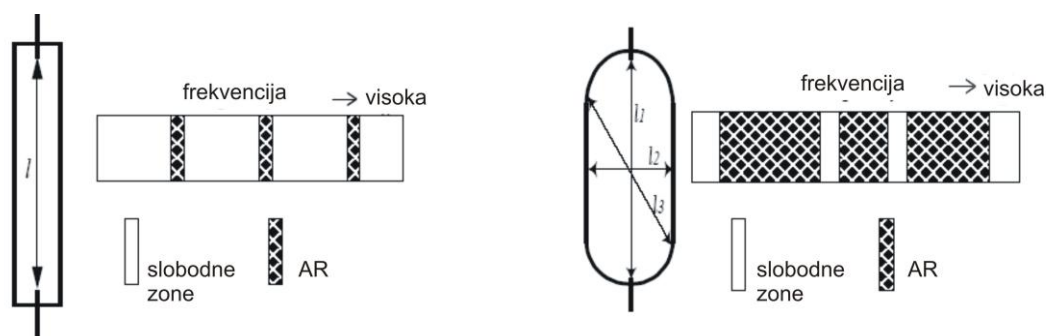
Budući u ovom slučaju napon i struja sijalice imaju pravougaoni talasni oblik i u fazi su (slika 45), snaga kojom se energija dovodi sijalici ostaje konstantna, a sa njom i temperatura plazme.

Primenom niskofrekventne pravougaone (LFSW – Low Frequency Square Wave) struje [26] može se efikasno eliminisati AR. Ova metoda se široko primenjuje i veoma je prisutna na tržištu elektronskih balasta za HID izvore. Ipak, za ovakav tip balasta potreban je inverter koji generiše pravougaone impulse veoma niskih frekvencija, što rezultuje relativno komplikovanom strukturom sistema, kao i većim dimenzijama, težinom i cenom balasta.



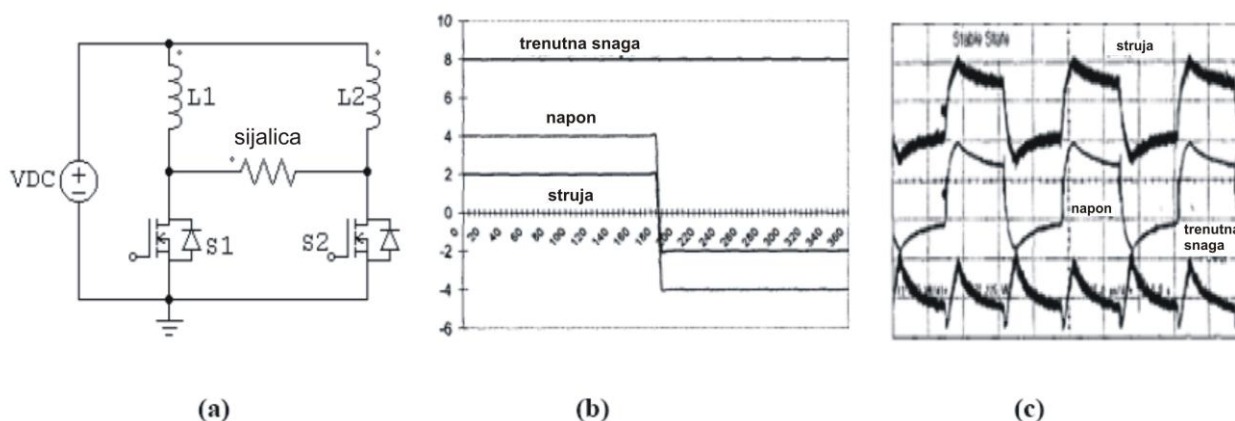
Slika 45. Uprošćeni blok dijagram LFSW balasta i električne karakteristike sijalice [26]

Treba naglasiti da su slobodne zone u niskofrekventnom pojasu (ispod 1 kHz) mnogo šire kod natrijumovih nego kod metal-halogenih izvora (slika 46), pa su natrijumovi izvori manje osetljivi na pojavu AR.



Slika 46. Izgled gorionika i raspored slobodnih i AR niskofrekventnih pojaseva (<1kHz) kod: a) natrijumovog izvora b) metal halogenog izvora [28]

U idealnom slučaju, HFSW (High Frequency SquareWave) metoda kojom se sijalica napaja strujom visoke učestanosti [26] takođe obezbeđuje konstantnu trenutnu snagu u cilju izbegavanja AR, kako je prikazano na slici 47b. Ipak, zbog parazitnih efekata i dalje se visokofrekventna energija predaje sijalici (slika 47c), što još uvek može dovesti do nastanka AR. Ovakva tehnika generiše visok nivo elektromagnetskih smetnji (posebno u radio frekventnom opsegu) koje emituje sam HID izvor. Jedan od načina da se suzbiju elektromagnetske smetnje je da se generiše signal približno pravougaonog oblika dodavanjem nekih viših harmonika osnovnom sinusoidalnom harmoniku (npr. treći i peti harmonik) [29]. Ova tehnika nije još uvek dovoljno istražena.

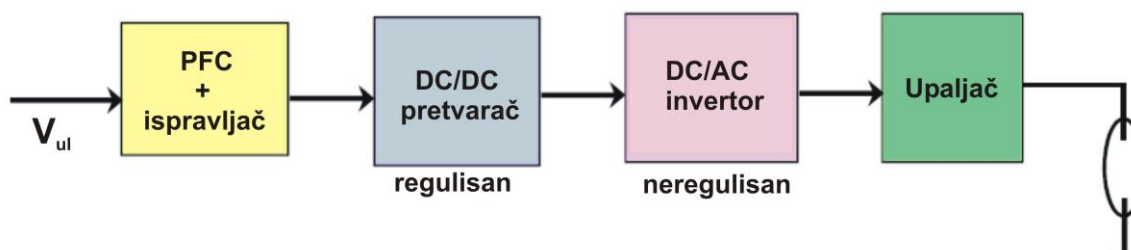


Slika 47. Metod generisanja HFSW struje radi izbegavanja AR: a) topologija električnog kola b) električne veličine u idealnom slučaju c) električne veličine u realnom slučaju [26]

Među svim napred nabrojanim tipovima elektronskih balasta, LFSW topologija (Tip 3 [30]) pokazala se kao najefikasniji način eliminisanja akustičke rezonancije i uspešno je primenjena u komercijalnim elektronskim balastima.

3.3.3. PRINCIP RADA

Elektronski balast je sastavljen od više funkcionalnih blokova povezanih u celinu. Struktura tipičnog elektronskog balasta sa 4 funkcionalna bloka prikazana je na slici 48.

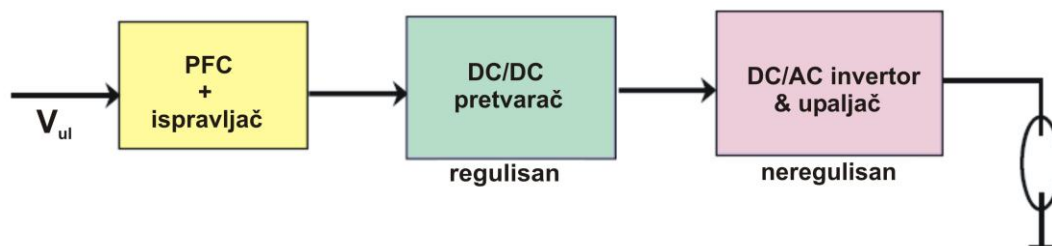


Slika 48. Elektronski balast sa 4 funkcionalna bloka [26]

Prvi blok ima funkciju ispravljača ulaznog naizmeničnog napona u konstantan jednosmerni napon, korekciju faktora snage (obezbeđuje visok faktor snage), ali i ograničenja viših harmonika struje u skladu sa zahtevima iz standarda IEC 61000-3-2 (Klasa C – oprema za osvetljenje, 2004 [26]). Drugi blok je visokofrekventni pretvarač koji obara jednosmerni napon na izlasku iz prvog bloka (prekidački spuštač napona – „buck“ pretvarač) i obezbeđuje regulaciju snage sijalice. Treći blok predstavlja inverter koji daje sijalici struju pravougaonog talasnog oblika niske frekvencije (LFSW) koja je neophodna za izbegavanje AR kod HID izvora. Četvrti funkcionalni blok predstavlja upaljač koji obezbeđuje odgovarajući napon paljenja za početak pražnjenja u HID izvorima. Posle paljenja, upaljač prestaje da stvara visokonaponske impulse.

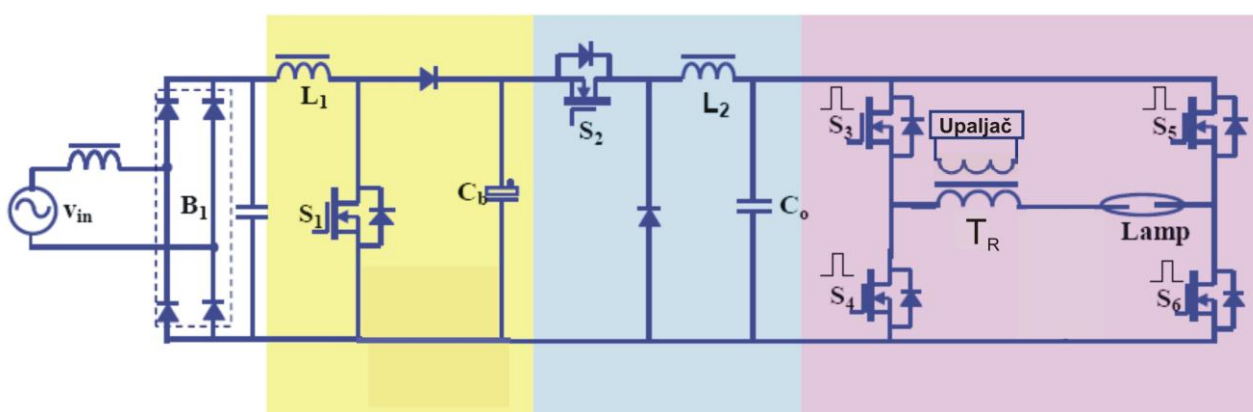
Svi pretvarački uređaji koji se pojavljuju u električnim kolima elektronskih balasta drugačije se nazivaju čoperi ili impulsni regulatori jednosmernog napona („boost“ ili „buck“ pretvarači – dve osnovne konvertorske topologije). Oni pretvaraju jednosmerni napon u jednosmerni napon promenljive srednje vrednosti (ta vrednost se reguliše), a takođe pretvaraju energiju jednih karakteristika u energiju drugih karakteristika (npr. više frekvencije). Zapravo, funkcija čopera u jednosmernim kolima je ekvivalentna funkciji transformatora u naizmeničnim kolima.

U cilju pojednostavljenja električnog kola balasta, upaljač se spaja sa invertorom u jedan blok, što za posledicu ima trostepeni (3 funkcionalna bloka) elektronski balast prikazan na slici 49.



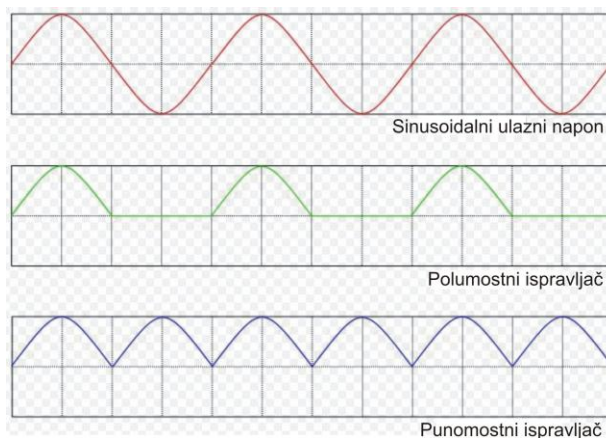
Slika 49. Trostepeni elektronski balast [26]

Električno kolo tipičnog trostepenog balasta prikazano je na slici 50.



Slika 50. Električno kolo tipičnog trostepenog elektronskog balasta [26,31]

Punomostni ispravljač (označen sa B_1), koji prethodi PFC bloku (žuta boja na slikama 48, 49 i 50) ima zadatak da generiše konstantan jednosmerni napon, čija vrednost ostaje u zadatim granicama pri promeni struje potrošača. Kolo ispravljača, koje se sastoji od 4 diode (u Grecovom spoju) i kondenzatora, proizvodi pulsirajući jednosmerni napon koji zatim prolazi kroz kondenzatorski filter koji smanjuje naizmeničnu komponentu napona (slika 51). Kada napon na izlazu ispravljača postane veći od napona na kondenzatoru i nastavi da raste, on puni kondenzator i istovremeno isporučuje struju opterećenju.



Slika 51. Talasni oblici mrežnog i ispravljenog napona na izlasku iz ispravljača [23]

Nakon četvrtine periode, kada napon na ispravljaču dostigne maksimalnu vrednost, kondenzator je maksimalno napunjen. Nakon ovoga, napon na ispravljaču počinje da opada. To izaziva pražnjenje kondenzatora kroz opterećenje. Ako je kapacitivnost kondenzatora dovoljno velika, kondenzator će se sporije prazniti nego što opada napon na ispravljaču. Tako potrošač dobija napajanje sa manjom „talasnošću“. Ukoliko je kapacitivnost kondenzatora veća, talasanje napona će biti manje. Zato se u ovakvim slučajevima najčešće koriste elektrolitički kondenzatori [32]. Na slici 52 prikazan je uticaj filtera u polumostnom ispravljačkom kolu (princip ostaje isti i za punomostni ispravljač). Ispravljač nije linearan uređaj, pa ga karakteriše nelinearna struja u kojoj se javljaju viši harmonici. Na frekvencijama viših harmonika stvara se značajna energija koja se javlja oko naponskih pikova (struja je uvek u fazi i na istoj frekvenciji sa naponom). Ova energija smanjuje faktor snage, pa svi kvalitetniji elektronski balasti imaju i stepen za korekciju faktora snage (PFC blok).



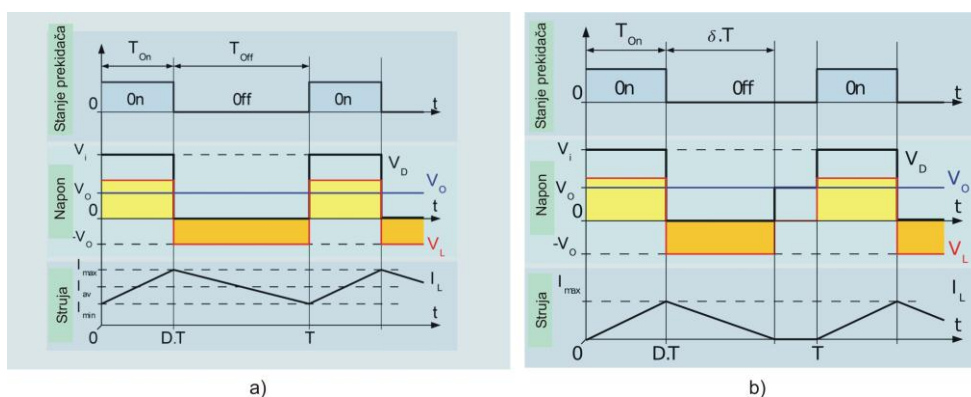
Slika 52. Ispeglašeni napon na izlazu iz polumostnog ispravljača [32]

Sva pretvaračka kola svoj rad zasnivaju na tehnici impulsno-širinske modulacije (Pulse Width Modulation – PWM), i to pri konstantnoj frekvenciji prekidanja (ona može biti i promenljiva). Pretvarači obično rade u kontinualnom režimu rada (Continuous Conduction Mode – CCM) za aplikacije većih snaga ili pri punom (nominalnom) opterećenju, ili u diskontinualnom režimu rada (Discontinuous Conduction Mode – DCM) za aplikacije manjih snaga ili pri opterećenju manjem od nominalnog. CCM režim karakteriše kontinualno proticanje struje kroz prigušnicu tokom celog prekidačkog ciklusa u normalnom radu. U DCM režimu struja prigušnice 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). Za razliku od PWM modulacije na konstantnoj učestanosti, neki pretvarači (predstavljeni u sledećem pasusu) rade u graničnom režimu (Boundary Conduction Mode – BCM) između CCM i DCM režima rada, pri čemu frekvencija prekidanja u BCM pretvaračkom kolu varira sa promenama struje opterećenja ili ulaznog napona [26].

PFC blok je konvencionalni prekidački podizač napona (“boost” pretvarač) koji radi u BCM režimu rada. Pretvarači snage koji rade u BCM režimu imaju u svojim električnim kolima prigušnice manjih dimenzija i manje gubitke usled prekidačkog rada nego CCM pretvarači i struje manjih amplituda nego DCM pretvarači. BCM kola se često koriste u ispravljačkim kolima elektronskih balasta za HID izvore malih snaga [33]. Kada je u kolu prikazanom na slici 50 prekidač S_1 (MOSFET) zatvoren, prigušnica L_1 apsorbuje energiju i njena struja (ulazna struja) raste. Kada je prekidač S_1 otvoren, jedini put kojim struja prigušnice može da prođe je kroz diodu, prihvatni kondenzator C_b (koji ima ulogu da izlazni napon održi konstantnim – buffer capacitor) i opterećenje (u ovom slučaju deo kola balasta desno od PFC bloka). Ovo za posledicu ima transfer energije akumulirane u prigušnici tokom zatvorenog prekidača S_1 na kondenzator C_b . Vreme uključenosti MOSFET-a (tj. aktivni deo periode ($D = t_{on}/T$)) se kontroliše u cilju obezbeđivanja visokog faktora snage i **konstantnog DC napona** za drugi blok u kome se kontroliše snaga izvora.

Prekidački spuštač napona (“buck” pretvarač) smanjuje napon koji se dobija na izlazu iz PFC bloka, obezbeđuje kontrolu konstantne izlazne snage i ograničava vrednosti napona i struje tokom aktivnog dela periode i predgrevanja elektroda sijalice. Kada je u kolu prikazanom na slici 50

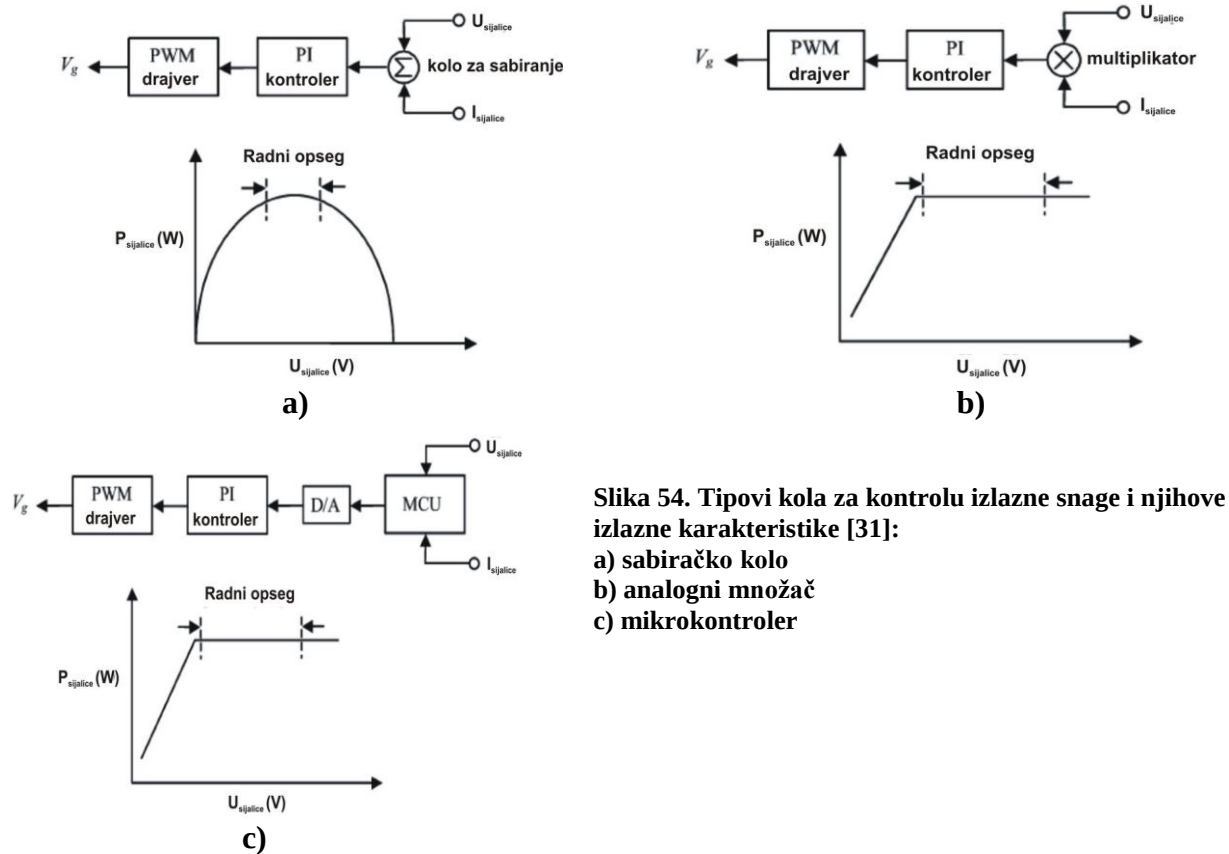
prekidač S_2 (MOSFET) zatvoren, kalem L_2 apsorbira energiju i struja kroz njega (ulazna struja) raste gotovo linearno. Pošto je dioda inverzno polarisana, kroz nju neće teći struja. Kada je prekidač S_2 otvoren, dioda je direktno polarisana i provodi, a struja kroz kalem L_2 opada. Kalem zapravo služi za prenošenje energije sa ulaza na izlaz pretvarača, a kondenzator C_o da filtrira napon. Na slici 53 prikazani su dijagrami struje i napona buck pretvarača u zavisnosti od vremena uključenja prekidača S_2 , za kontinualni (struja nikada ne pada na nulu) i diskontinualni režim rada (struja pada na nulu, a kalem se potpuno prazni na kraju perioda komutacije T – na ovaj način se može regulisati struja u kolu ukoliko je opterećenju potrebna manja struja). Zapravo, zbog negativne I-U karakteristike HID izvora, buck pretvarač reguliše izlaznu struju dodatnim elektronskim upravljačkim kolom (zato na slici 49 ispod funkcionalnog bloka sa buck pretvaračem stoji „regulisan“). Upravljačko kolo precizno podešava period uključenja prekidača S_2 na visokoj frekvenciji u cilju obezbeđivanja optimalne temperature boje svetlosti i svetlosnog fluksa HID izvora tokom vremena.



Slika 53. Dijagrami struje i napona buck pretvarača za: a) CCM režim rada b) DCM režim rada [34]

U prethodnom tekstu je pomenuto da se u elektronskim balastima reguliše izlazna snaga a ne izlazna struja. Naime, ekvivalentna impedansa može se dvostruko povećati u slučaju stare sijalice. To znači da će u slučaju stare sijalice izlazna snaga biti dvostruko veća što utiče na pouzdanost rada električnog kola svetiljke. Kontrola izlazne snage i njeno održavanje konstantnom vrši se upravo u ovom delu kola na 3 moguća načina:

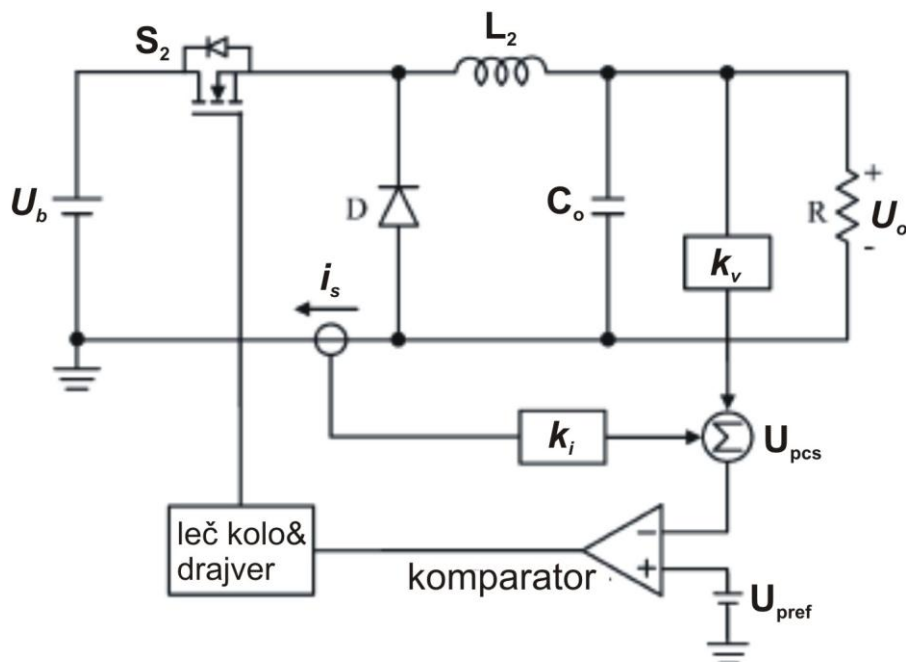
- koristi se sabiračko kolo kome se na ulaze dovode ekvivalentni napon i struja sijalice, a kroz mehanizam povratne sprege se ovaj signal (feedback signal) koristi da bi u uskom radnom opsegu održavao snagu približno konstantnom (slika 54a). Karakteristika izlazne snage je parabola, a rad balasta je ograničen na najvišu tačku parabole, gde je varijacija snage sijalice najmanja. Upravljačko kolo je jednostavno, ali nije podesno za širi opseg varijacija impedance sijalice.
- Povratna informacija o snazi se dobija iz analognog množača (slika 54b). Izlazna karakteristika snage može se održavati konstantnom i sa normalnom impedansom sijalice, čak i kada izvor nije nov. Konstantna snaga se može održavati u širokom opsegu, ali je cena ovakvog uređaja visoka, što ga čini nepodesnim za primene kod malih snaga.
- Koristi se mikrokontroler (MCU na slici) koji takođe obezbeđuje neke zaštitne funkcije, kao npr. za slučaj otvorene veze, kratkog spoja, ponovnog paljenja i kraja životnog veka sijalice. Visokokvalitetni mikrokontroleri imaju funkciju množenja i zato ih je lako implementirati (Slika 54c), ali im je cena visoka. Mikrokontroleri slabijeg kvaliteta su jeftiniji, ali nemaju funkciju množenja i nisu podesni za implementaciju softvera.



Slika 54. Tipovi kola za kontrolu izlazne snage i njihove izlazne karakteristike [31]:

- a) sabiračko kolo
- b) analogni množač
- c) mikrokontroler

U konkretnom slučaju koristiće se kontrola prikazana na slici 54a, a ekvivalentno kolo prikazano je na slici 55.



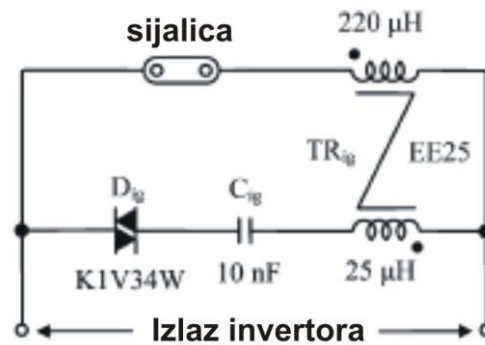
Slika 55. Kontrolno kolo za održavanje konstantne snage [31]

U cilju pojednostavljenja analize, uzima se da je izlazni napon PFC bloka (boost pretvarača) ulazni napon buck pretvarača (U_b), a za njegovo opterećenje može se uzeti otpornost sijalice R (slika 55). Zanemarujući gubitke energije u invertoru, izlazna snaga buck pretvarača jednaka je snazi sijalice.

Tom snagom se upravlja promenom aktivnog dela periode rada prekidača S2 („duty cycle“). Odnos aktivnog i pasivnog dela periode podešava se poređenjem kontrolnog signala U_{pcs} sa referentnim signalom U_{pref} . Referentni signal snage je konstanta koja se koristi za kontrolu izlazne snage. Kontrolni signal U_{pcs} se dobija sabiranjem signala struje buck pretvarača i_s i signala povratne sprege izlaznog napona U_o . Kada se impedansa sijalice promeni, menja se i izlazni napon buck pretvarača. Iz tog razloga (videti objašnjenje uz sliku 53) menja se vrednost struje i_s u cilju promene odnosa aktivnog i pasivnog dela periode buck pretvarača. Promena kontrolnog signala snage definisana je pojačanjem kontrolnog signala struje (K_i) i pojačanjem izlaznog napona (K_u) buck pretvarača. Podešavanjem vrednosti K_i i K_u održava se približno konstantna snaga u kolu sijalice. Referenca [31] daje detaljnije objašnjenje ovog procesa, ali ono nije od značaja za ovu analizu.

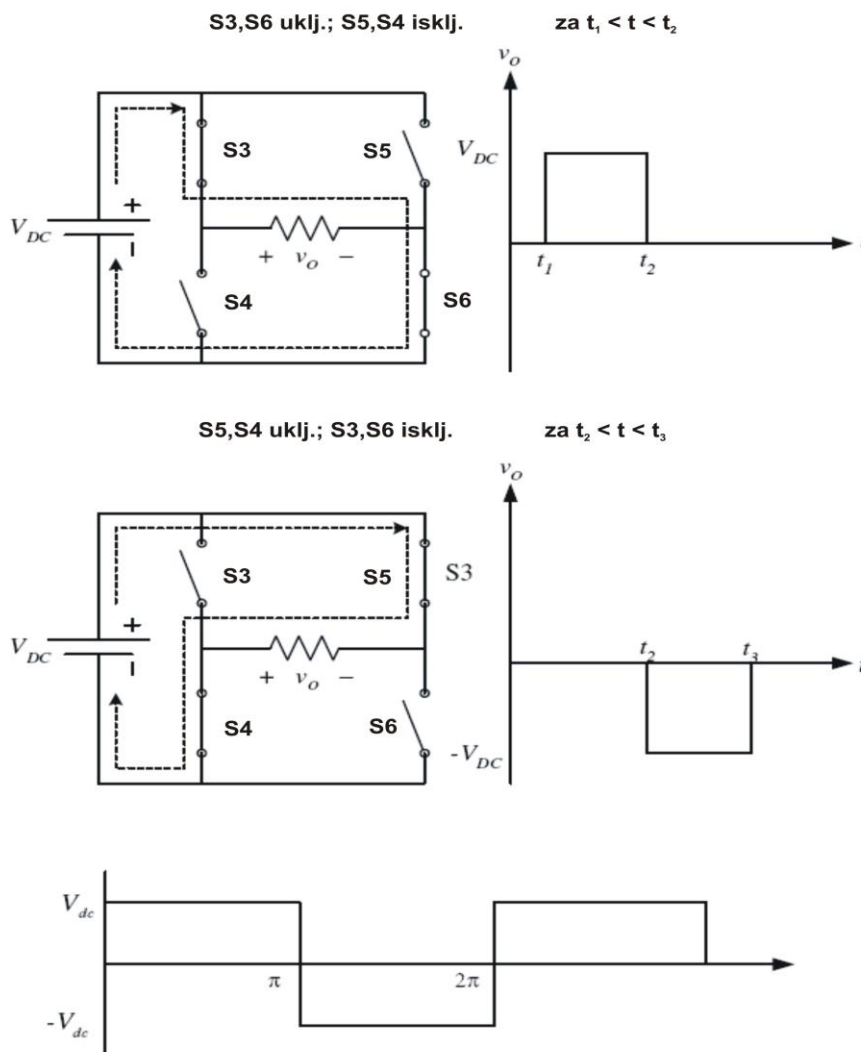
Punomostni inverter pravougaonog izlaznog napona menja polaritet napona/struje sijalice naizmenično na frekvenciji od 150Hz u cilju izbegavanja akustičke rezonancije. Kolo upaljača je prikazano na slici 56 i sadrži SIDAC Dig, rezonantni kondenzator C_{ig} i visokonaponski transformator TRig. Pre nego što se sijalica upali, izlazni napon invertora je veći nego probojni napon Dig. Kada je Dig uključen, C_{ig} i TRig formiraju rezonantno kolo i energija se prenosi na sekundarni namotaj visokonaponskog transformatora u cilju startovanja sijalice. Četiri MOSFET prekidača u kolu invertora (S_3 , S_4 , S_5 , i S_6) rade na visokoj frekvenciji (Slika 50), menjajući brzo frekvenciju u opsegu od 100kHz do 200kHz. Praktično, upravljačko kolo DC/DC bloka vrši brz frekvencijski prelaz ka rezonantnoj učestanosti TRig C_{ig} kola u cilju obezbeđivanja mekog starta sijalice (rezonantni invertorski rad). Prekidači rade u parovima koji rade simultano: kada par S_3 - S_6 provodi, na opterećenje se dovodi pozitivan napon sa buck pretvarača, dok se na opterećenje dovodi negativan napon kada provodi par S_5 - S_4 . Svaki od prekidača ima vezanu antiparalelnu („flyback“) diodu koja služi da obezbedi put za induktivnu struju opterećenja kada je prekidač otvoren. Treći harmonik pravougaonog napona ima frekvenciju u opsegu 100kHz do 200kHz. Ta frekvencija je veoma bliska rezonantnoj frekvenciji rednog rezonantnog kola TRig C_{ig} , pa će doći do generisanja visokog napona na kondenzatoru i sijalici. Praktično, kada dođe do naponske rezonancije, efektivna vrednost struje u napojnoj grani je maksimalna. Istovremeno, naponi na transformatoru (kalemu) i kondenzatoru su fazno pomereni za ugao od π radijana, pa je njihov zbir jednak nuli. Impedansa kola je minimalna pri rezonantnoj frekvenciji kola, pa će se na izlazu iz kola pojaviti samo napon čija je frekvencija jednaka rezonantnoj frekvenciji. Pošto je električna otpornost sijalice velika pre nego što se uspostavi pražnjenje u sijalici, ona se može tretirati kao otvorena veza. Napon se prenosi na kondenzator i kada je njegova vrednost dovoljno velika, otpočinje proces električnog pražnjenja u sijalici. Napon je visoke frekvencije, pa će se u sijalici uspostaviti manja struja, što doprinosi mekšem startovanju sijalice bez treperenja. Nakon što sijalica startuje, Dig je isključen jer je izlazni napon invertora niži od probojnog napona Dig. Otpornost sijalice se značajno smanjuje (tokom zagrevanja sijalice ona iznosi 20% nominalne vrednosti koju postepeno dostiže nakon približno 10 minuta rada [30]). Uopšteno govoreći, probojni napon SIDAC-a bira se tako da bude viši od najvišeg mogućeg napona sijalice u cilju obezbeđivanja isključenosti upaljača iz električnog kola sijalice tokom stabilnog rada sijalice. Kao dodatak ovom objašnjenju može se pogledati opis elektronskog balasta Tipa 3 (strana 36).

Nakon što otpornost sijalice dostigne nominalnu vrednost, inverter počinje da se ponaša kao klasičan LFSW DC/AC pretvarač, a prekidači će raditi na frekvenciji od 150Hz. Tokom startovanja i zagrevanja sijalice kontrola perioda uključenja/isključenja prekidača („duty cycle“) u kolu invertora bila je onemogućena, da bi se nakon startovanja frekvencija prekidanja stabilizovala na 150 Hz.



Slika 56. Rezonantno kolo invertora [31]

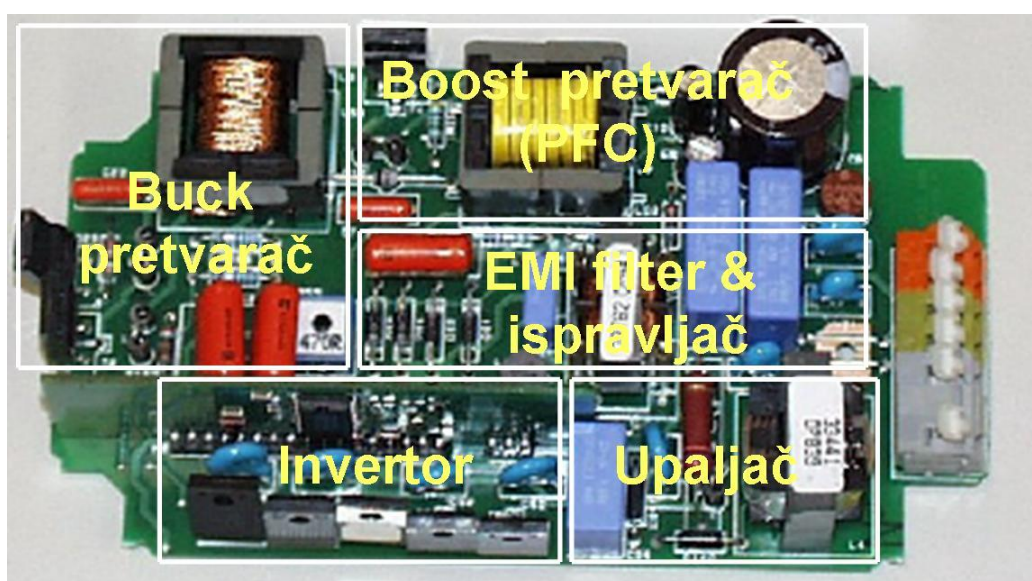
Pošto je LFSW tehnika zasnovana na jednakim periodima uključenosti i isključenosti prekidača (formira se naponska povorka jednakih četvrtki), tj. na konstantnoj frekvenciji, nije neophodno dodatno kontrolno kolo kao u slučaju PWM modulacije (ova tehnika je zasnovana na promenljivoj frekvenciji čija se vrednost mora regulisati). Upravo zato se može reći da invertorski blok nije regulisan spolja (na slici 49 ispod funkcionalnog bloka sa invertorom stoji „neregulisan“). Na slici 57 prikazan je rad invertora u ustaljenom režimu i talasni oblik izlaznog napona. Jednosmerni ulazni napon V_{DC} na slici 57 ustvari je izlazni napon DC/DC bloka (buck pretvarača).



Slika 57. Stabilan rad invertora i talasni oblik izlaznog napona [35]

Trostepeni elektronski balast se i dalje može uprostiti u cilju smanjenja troškova i složenosti kola. Spajanjem invertorskog i DC/DC bloka u jedan blok može se dobiti dvostepeni elektronski balast, a daljim spajanjem i jednostepeni (integrirani) elektronski balast. Ipak, standardno rešenje za HID izvore snaga većih od 70W predstavljaju trostepeni elektronski balasti [36].

Na slici 58 prikazan je izgled električnog kola trostepenog elektronskog balasta kompanije Philips, tip PrimaVision HID-PV 150W SON, koji je izdijeljen na funkcionalne blokove (inverter i upaljač zajedno čine jedan blok, a isto važi i za ispravljač sa filterom za otklanjanje elektromagnetnih smetnji i PFC boost pretvarač). Principijelno, ovaj balast je isti kao i prethodno analizirani tipični trostepeni balast. Jedina razlika je u frekvenciji izlaznog napona balasta koja je u ovom slučaju 130 Hz. Ova frekvencija je takođe u istom frekventnom opsegu (u opštem slučaju, od 70 do 400 Hz, prema nekim izvorima od 50 do 500 Hz [12]) u kojem su eliminisani stroboskopski efekat i akustička rezonancija.



Slika 58. Izgled trostepenog elektronskog balasta tipa PrimaVision HID-PV 150W SON, Philips [37]

Rad na niskoj frekvenciji generisanjem signala pravougaonog oblika pomoću LFSW modulacije donosi brojne prednosti [12]:

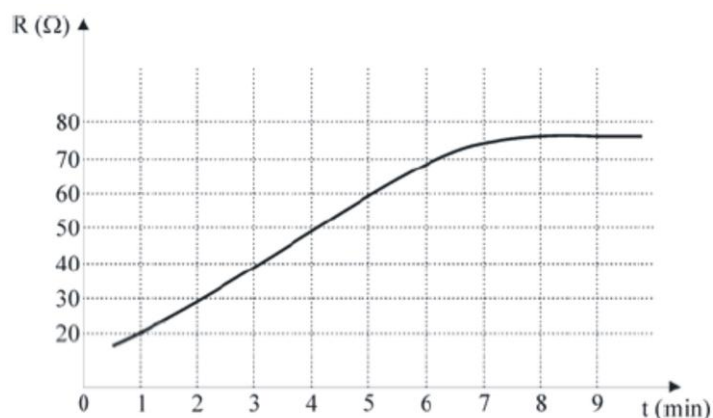
- Konstantnu trenutnu snagu izvora, što rezultuje radom bez prisustva AR,
- Nema varijacija temperature, što eliminiše treperenje i manje opterećuje zidove gorionika sijalice,
- Konstantnu gustinu struje u elektrodama, što rezultuje produženim životnim vekom izvora,
- Konstantnu temperaturu u gorioniku sijalice i konstantnu (nefluktuirajuću) jačinu struje, i
- Elektromagnetske smetnje su značajno smanjene u odnosu na rad na visokoj frekvenciji.

3.3.4. OSNOVNE KARAKTERISTIKE ELEKTRONSKIH BALASTA

Uvažavajući karakteristike HID izvora, elektronski balast mora da obezbedi konstantnu izlaznu snagu (ne i brzu regulaciju izlaznog napona) tokom stabilnog rada, konstantan napon tokom startovanja i konstantnu struju tokom zagrevanja HID izvora.

Tokom startovanja, HID izvoru je potreban odgovarajući napon na elektrodama da započne i održi proces tinjavog pražnjenja („glow discharge“), tj. prvog pražnjenja koje prethodi lučnom pražnjenju („arc discharge“). Balast mora da obezbedi i dovoljnu struju pri naponu tinjavog pražnjenja (približno 90V za natrijumove i 130V za metal-halogene izvore), ne bi li se uspostavio električni luk između elektroda i otpočelo lučno pražnjenje u gasu. Tokom startovanja balast treba da obezbedi visokonaponske impulse (2 do 3kV, trajanje impulsa 1 μ s) za natrijumove izvore visokog pritiska [12].

Vreme zagrevanja HID izvora u radu sa elektronskim balastima približno iznosi 10 minuta. U tom vremenskom intervalu otpornost sijalice na koju je doveden pravougaoni napon postepeno raste od niske vrednosti (često niže od 20% nominalne vrednosti) do značajno više, nominalne otpornosti (slika 59), dok se balast ponaša kao izvor (približno) konstantne struje, obezbeđujući potrebnu rastuću (gotovo linearno) snagu za HID izvor.

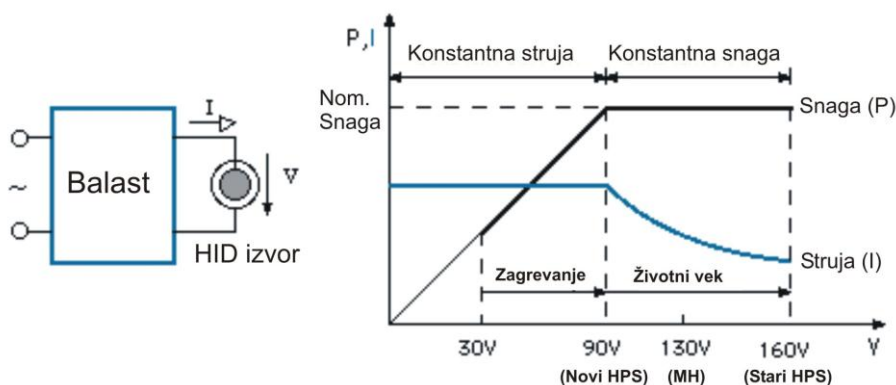


Slika 59. Ekvivalentna otpornost sijalice tokom zagrevanja [30]

Ovo se može videti na slici 60, na kojoj su prikazane srednje vrednosti snage i efektivne vrednosti struje sijalice u zavisnosti od efektivne vrednosti napona na njoj. Nakon što sijalica startuje, napon na njoj iznosi približno 30V (kod nekih sijalica 20V) [12]. Za najnižu vrednost izlaznog napona uzeta je nulta vrednost (uzima se da je otpornost sijalice u tom periodu dovoljno mala da se može tretirati kao kratak spoj). Kao što je već rečeno, struja za opseg izlaznog napona od 0 do 30V mora biti dovoljno velika da obezbedi prelazak sa tinjavog na lučno pražnjenje, pri nekoj vrednosti napona tinjavog pražnjenja koja je određena fizičkim karakteristikama HID izvora.

U prethodnom izlaganju već je rečeno da kod natrijumovih izvora visokog pritiska napon na sijalici dramatično raste tokom njenog radnog veka. Ovaj porast može iznositi približno 70% u odnosu na napon na sijalici nakon 100 sati rada.

U ovom periodu (tokom radnog veka sijalice) balast treba da obezbedi da izlazna snaga (snaga sijalice) bude u prihvatljivom opsegu snaga određenom karakteristikama balasta. Ako se uzme da je izlazna snaga približno konstantna tokom čitavog radnog veka sijalice, može se videti da će sa porastom napona na sijalici struja proporcionalno opadati.



Slika 60. Električno kolo HID izvora (levo) i vrednosti snage i struje u zavisnosti od napona na sijalici [12]

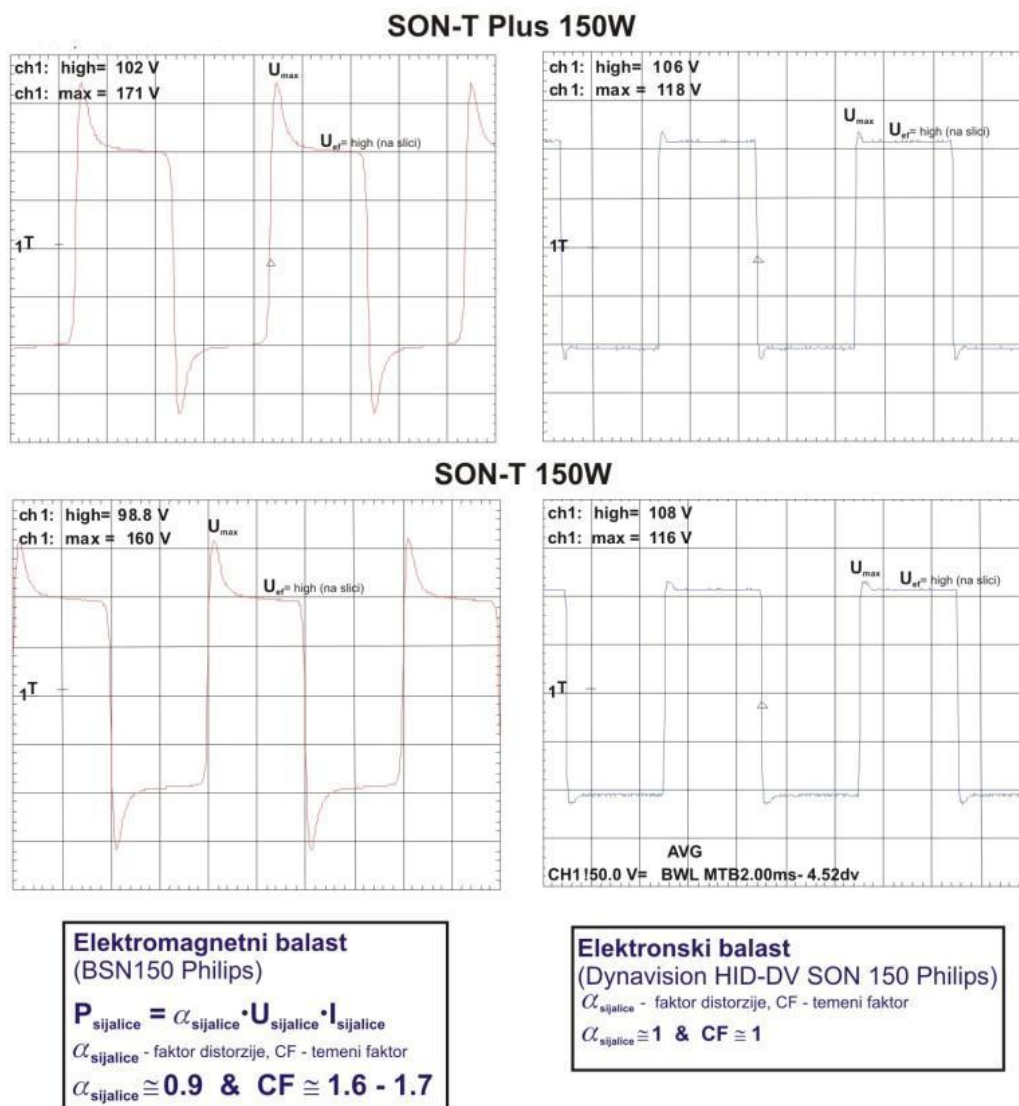
Faktor talasnog oblika (temeni faktor)

Jedan od najvažnijih faktora koji utiču na smanjenje životnog veka sijalice je tzv. temeni faktor struje na izlazu iz balasta (faktor talasnog oblika - *crest factor*). On predstavlja odnos maksimalne i efektivne struje u kolu i opisuje njen talasni oblik. U slučaju da je struja savršeno sinusoidalnog talasnog oblika, ovaj faktor približno iznosi 1.41. ANSI standard C82.11 (ANSI 1993 [38]) propisuje da vrednost temenog faktora treba da bude manja od 1.7. Ako bi ovaj faktor dostigao vrednost 2, životni vek sijalice bi se prepolovio [39]. U slučaju LFSW balasta, struja je pravougaonog talasnog oblika, pa je maksimalna vrednost struje jednaka njenoj efektivnoj vrednosti, tj. temeni faktor ima vrednost 1. To znači da struja neće imati izražene pikove u trenutku ponovnog paljenja, što smanjuje habanje elektroda i produžuje životni vek HID izvora. Različiti talasni oblici struja sa vrednostima temenog faktora dati su na slici 61.

Tip	Talasni oblik	Maksimalna vrednost	Efektivna vrednost	Temeni faktor	Faktor oblika
DC		1	1	1	1
Sinusni talas		1	$\frac{1}{\sqrt{2}} \approx 0.707$	$\sqrt{2} \approx 1.414$	$\frac{\pi}{2\sqrt{2}}$
Ispravljeni sinusni talas		1	$\frac{1}{\sqrt{2}} \approx 0.707$	$\sqrt{2} \approx 1.414$	$\frac{\pi}{2\sqrt{2}}$
Poluspravljeni sinusni talas		1	$\frac{1}{2} = 0.5$	2	$\frac{\pi}{2}$
Trougaoni talas		1	$\frac{1}{\sqrt{3}} \approx 0.577$	$\sqrt{3} \approx 1.732$	$\frac{2}{\sqrt{3}}$
LFSW modulacija		1	1	1	1
PWM modulacija		1	$\sqrt{\frac{t_1}{T}}$	$\sqrt{\frac{T}{t_1}}$	$\sqrt{\frac{T}{t_1}}$

Slika 61. Vrednost temenog faktora za različite talasne oblike [23]

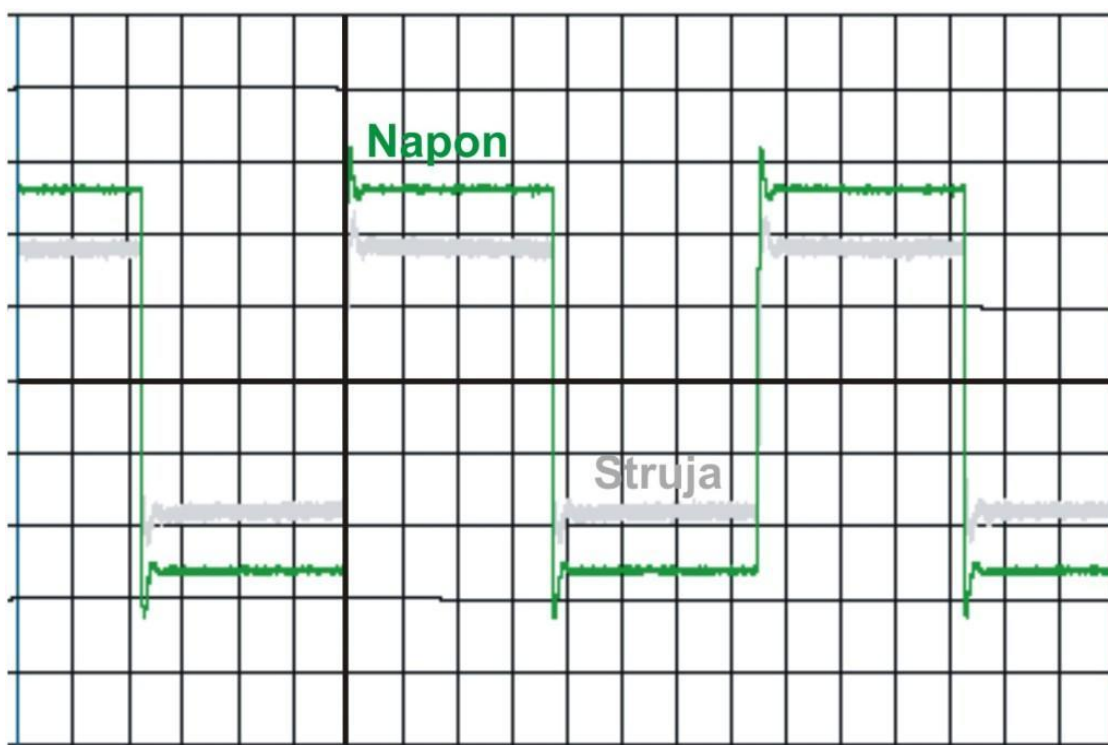
Primer koji pokazuje značaj temenog faktora dat je na slici 62, na kojoj je prikazana naponska karakteristika sijalice u slučaju elektromagnetskog i elektronskog balasta.



Slika 62. Karakteristike napona sijalice u radu sa elektromagnetnim (levo) i LFSW balastom (desno) [37]

Može se zaključiti da je faktor distorzije talasnog oblika sijalice u slučaju elektronskog balasta jednak 1 ($\alpha_{\text{sijalice}} = 1$), što znači da će rad sijalice biti efikasniji za 10% u odnosu na elektromagnetski balast ($\alpha_{\text{sijalice}} = 0.9$). To praktično znači da je snaga kojom se energija predaje sijalici 10% veća u slučaju njenog rada sa elektronskim balastom ($P_s = \alpha \cdot U_s \cdot I_s$). Naponski vrhovi su značajno manji u radu sa elektronskim balastima, pa je temeni faktor približno jednak 1 (kod elektromagnetskih balasta $CF = 1.6-1.7$).

Na slici 63 date su naponske i strujne karakteristike jednog tipičnog elektronskog balasta. Upravo zbog ovakvih karakteristika, pri radu sa LFSW balastima nema treperenja i ponovnog startovanja u svakoj poluperiodi.



Slika 63. Karakteristike napona i struje sijalice u radu sa LFSW balastom [16]

Frekvencija

Kao što je već rečeno, prema radnoj frekvenciji balasti se mogu podeliti na one koji rade na:

Niskoj frekvenciji: $50 \text{ Hz} < f < 500 \text{ Hz}$

Visokoj frekvenciji: $f > 20 \text{ kHz}$ (prema nekim izvorima 10 kHz [21]).

Efikasnost balasta

Kada HID izvori rade sa elektronskim balastima, u njima se ulazna električna energija mnogo efikasnije konvertuje u svetlosni fluks nego prilikom rada sa elektromagnetskom predspojnom opremom. To je posledica toga što su napon i struja sijalice istog (pravougaonog) talasnog oblika i u fazi (slika 63), pa se gotovo sva ulazna energija predaje sijalici. Posledica toga je veća efikasnost sistema (procenat ulazne energije koji je predat sijalici), tj. manji gubici i veće uštede električne energije.

1. Elektromagnetski balasti

- niska efikasnost ($< 80\%$)
- visoka efikasnost ($> 85\%$)

2. Elektronski balasti

- veoma niska efikasnost ($< 85\%$)
- niska efikasnost ($85\% - 90\%$)
- visoka efikasnost ($90\% - 93\%$)
- veoma visoka efikasnost ($> 93\%$)

Budući da su dozvoljene temperature ambijenta kod elektronskih balasta u opsegu od -20 do 50°C i da je prosečan porast temperature (sopstveno zagrevanje ΔT) u balastu 30°C , efikasnost balasta za sijalice veće snage (250 i 400W) iznosi približno 94% , dok za sijalice manje snage (50 do

150W) ona iznosi 92% za istu temperaturu ambijenta [12]. Može se zaključiti da su gubici energije elektronskih balasta prosečno 10% manji od onih koji karakterišu elektromagnetske balaste.

Faktor snage

Prema klasifikaciji balasta koju je dao ANSI standard C82.11 iz 1993. godine [38], faktor snage veći od 0.9 smatra se visokim faktorom snage. Nizak faktor snage može dovesti do povećanog prisustva harmonika i posledično povećanja efektivne vrednosti struje u kolu. Kod LFSW elektronskih balasta mrežni napon i struja su u fazi, pa je teoretski faktor snage jednak jedinici. U praksi, svi kvalitetniji elektronski balasti imaju faktor snage veći od 0.95, dok svi renomirani proizvođači (Philips, Osram) obezbeđuju faktor snage veći od 0.98.

Težina

Elektronski balasti u proseku imaju 50% do 60% manju težinu od elektromagnetskih, što dovodi do brojnih prednosti u pogledu konstrukcije svetiljki: svetiljke mogu biti manjih dimenzija (manje utrošenog materijala) i opterećenje na spojne delove kućišta je manje zbog manje težine .

Harmonijska izobličenja

THD je mera izobličenja u struji opterećenja. Aktivna opterećenja (npr. inkandescentni izvori) nemaju harmonike, dok oprema koja se nalazi u prekidačkom režimu rada proizvodi harmonijska izobličenja. U praktičnom (inženjerskom) smislu, samo aktivna komponenta osnovnog harmonika struje učestvuje u prenosu energije. Sistemi sa adekvatnom korekcijom faktora snage mogu se smatrati linearnim opterećenjima sa zanemarljivim stepenom harmonijskog izobličenja. Elektronski balasti (kao i sva prekidačka elektronika) imaju značajna harmonijska izobličenja usled prekidačkog rada diodnih mostova koji stvaraju prekidnu struju (diskontinualni DCM režim rada), koja posledično izaziva izobličen sinusoidalni talasni oblik. Uobičajeno je verovanje da elektronski balasti povećavaju THD u odnosu na elektromagnetske balaste. ANSI standard C82.11 zahteva da maksimalna vrednost THD za elektronske balasta ne prelazi 32 %. Većina novih elektronskih balasta je tako konstruisana da THD ne prelazi 20, 15 ili čak (kod najkvalitetnije opreme) 10%! Kod elektromagnetskih balasta THD se u praksi najčešće nalazi u opsegu od 20 do 28%. Može se, dakle, zaključiti da elektronski balasti imaju manji THD od elektromagnetskih balasta, a ovo smanjenje je pre svega posledica činjenice da se opterećenje (snaga sistema) smanjuje u radu sa elektronikom. Vrednosti za pojedinačne harmonike su iste kao u slučaju elektromagnetskih balasta (IEC 61000-3-2, klasa C).

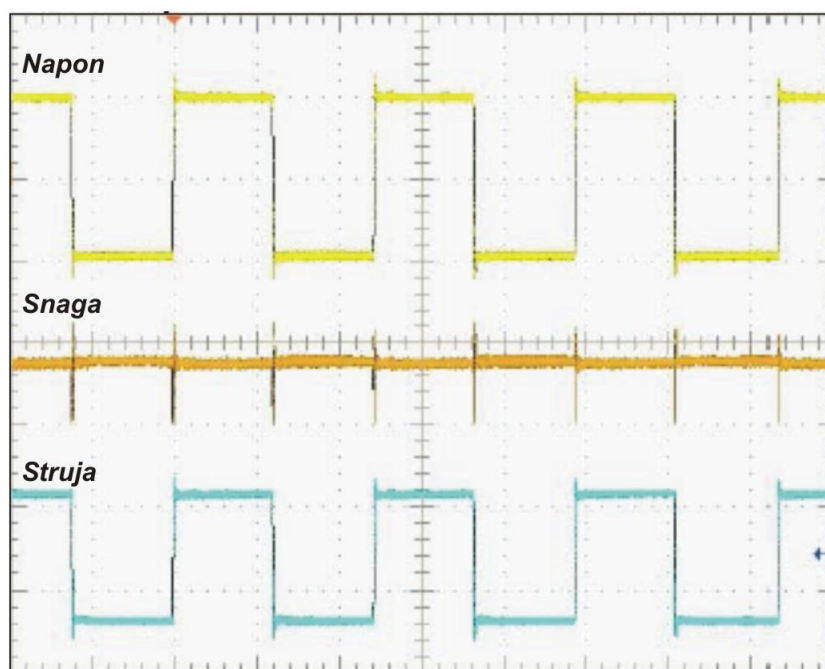
Treperenje svetlosti

Između 30 i 70Hz osetljivost ljudskog oka ne treperenje svetlosti eksponencijalno opada. Iznad 70 Hz ljudsko oko postaje neosetljivo na treperenje [37]. Upravo iz tog razloga, u radu sa LFSW elektronskim balastima čija je radna frekvencija viša od 70 Hz (npr. Philips Primavision 35/70/150W elektronski balast (radna frekvencija u opsegu 110-160Hz)) nema vidljivog treperenja svetlosti.

Izlazna snaga

Svi elektronski balasti su predviđeni da rade sa varijacijama mrežnog napona od približno $\pm 4\%$ (220-240V). Većina elektronskih balasta na tržištu je tako konstruisana da obezbedi nepromenjen rad sijalice i u opsegu $U_{nom} \pm 10\%$ (207-253V), tj. rad u ovom opsegu nezavisan je od mrežnog napona. Izvan ovog opsega rad sijalice je moguć za odstupanja od $\pm 15\%$ -20% (približno 180-264V),

ali sa promenjenim performansama izvora. Napon sijalice se konstantno nadgleda, a struja sijalice se tako reguliše da snaga HID izvora uvek bude konstantna (slika 64).



Slika 64. Eksperimentalni talasni oblici u stabilnom radu tipičnog elektronskog balasta [36]

Snaga sijalice ostaje u opsegu $\pm 3\%$ [2,16] tokom celog životnog veka, nezavisno od promena temperature i napona na sijalici, a ukoliko napon ne odstupa bitno od nominalnog (220-240V), snaga ne varira više od $\pm 2\%$. Kod elektromagnetskih balasta sa povećanjem ulaznog napona raste i izlazna snaga (svetlosni fluks), dok kod elektronskih balasta izlazna snaga (svetlosni fluks) ostaje konstantna uprkos fluktuacijama mrežnog napona. Međutim, ukoliko dođe do većih redukcija mrežnog napona (npr. ukoliko distribucija vrši planske redukcije napona u cilju “peglanja” pikova u potrošnji električne energije), elektronski balast će vući više struje iz mreže u cilju održanja konstantne snage, što posledično dovodi do veće potrošnje električne energije. Upravo iz ovog razloga neophodno je kod proračuna pada napona za instalaciju sa elektronskim balastima voditi računa o tome da se struja povećava sa smanjenjem napona.

Životni vek izvora svetlosti

Gotovo svi renomirani proizvođači balasta tvrde da će životni vek izvora u radu sa elektronskim balastima biti 30% duži nego sa elektromagnetskim balastima (neki tvrde [28] da to povećanje može iznositi i do 50%). Životni vek HID izvora zavisi od energije naponskih impulsa prilikom startovanja, kontrole perioda startovanja i procesa predgrevanja pri hladnim elektrodama (smanjuje se vreme zagrevanja, a samim tim produžuje životni vek). Za razliku od elektromagnetskih balasta sa kojima sijalica prolazi kroz proces cikličnog paljenja/gašenja na kraju životnog veka, u radu sa elektronskim balastima detektuje se kraj životnog veka i sijalica se automatski isključuje, čime se sprečava neprijatan vizuelni utisak.

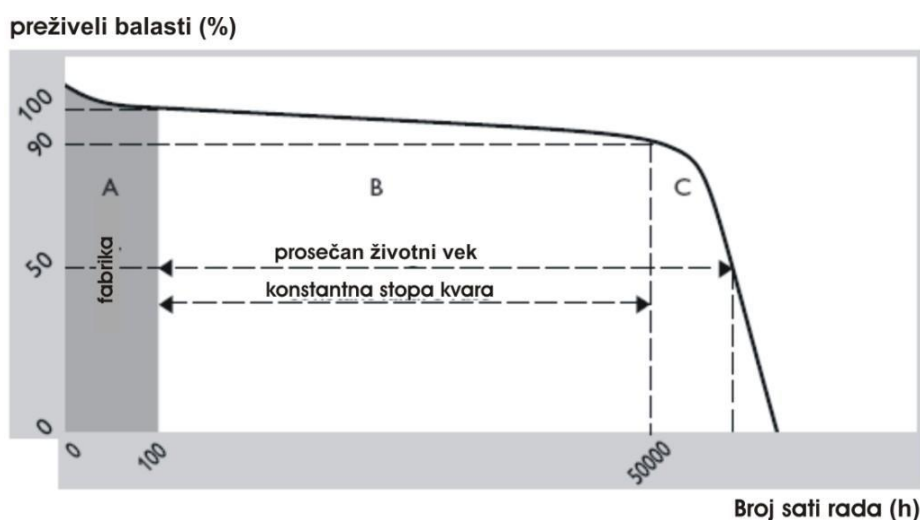
Naponski faktor

Pri padu napona od 5%, svetlosni fluks natrijumovog izvora u radu sa elektromagnetskim balastom padne za 13% (tzv. naponski faktor $K_u = 0.87$). U radu sa elektronskim balastom nema pada

napona na kraju trase, a posledično ni smanjenja svetlosnog fluksa ($K_u = 1$) [40]. Uticaj naponskog uključen je u Philips-ov program za simulaciju „Simulation C2E HID“, koji je korišćen u poglavlju 4.1.

3.3.5. ZAVISNOST ŽIVOTNOG VEKA OD TEMPERATURE ELEKTRONSKOG BALASTA

Kod elektromagnetskih balasta životni vek zavisi od apsolutne temperature namotaja T_w , pri čemu svako povećanje temperature za 10°C dovodi do prepolovljavanja životnog veka (prema Arenijusovom zakonu [2,14]). Kod elektronskih balasta, temperaturni opseg je ograničeniji, a životni vek pojedinačnih komponenti i čitavog kola zavisi od mnogo faktora (električno opterećenje, mehaničke veze komponenti, vibracije, temperatura i promene temperature, broj komponenti u kolu, vlažnost...). Pojedinačne komponente se testiraju na graničnim vrednostima specificiranih opsega. Uzimajući u obzir značajan uticaj temperature i struje/napona u kolu, mogu se izvršiti proračuni za sve pojedinačne komponente zajedno, ne bi li se odredila stopa kvara za čitavo električno kolo. Isti postupak se primenjuje kada je reč o tzv. ranim kvarovima koji su posledica neispravnih ili neodgovarajućih komponenti. Ipak, određivanje životnog veka svake od komponenti i čitavog uređaja predstavlja složen proces. Uobičajen način da se izrazi životni vek elektronskih uređaja je „prosečno vreme između kvarova“ - MTBF (Mean Time Between Failures) ili „prosečno vreme do kvara“ - MTTF (Mean Time To Failure) kod elektronskih kola koja se ne mogu popravljati. Ove vrednosti se daju za specificiranu temperaturu ambijenta i izražene su kao prosečan procenat kvarova na 1000h rada. MTBF zavisi od izbora komponenti, konstrukcije električnog kola i temperature. Komercijalni životni vek elektronskih balasta se definiše kao vreme za koje 10% balasta više nije u funkciji (slika 65). Za primene u otvorenim prostorima (npr. javno osvetljenje) uzima se da je životni vek preko 50000h, dok je za zatvorene prostore uzeto da je ova vrednost manja iz termičkih razloga i iznosi 40000h [2].



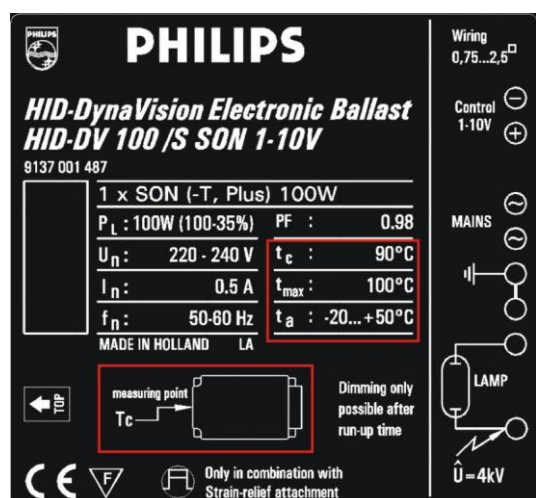
Slika 65. Merna tačka i tipične temperature [37]

Uzimajući u obzir činjenicu da su elektronski balasti za natrijumove izvore visokog pritiska relativno nova i još uvek nedovoljno primenjivana tehnologija, zbog sigurnosti se može uzeti da je životni vek približno 10 godina (oko 40000h). Izbor navedene vrednosti nalazi svoju potvrdu i u činjenici da se u gotovo svakom elektronskom balastu nalaze elektrolitski kondenzatori za stabilizaciju jednosmernog napona u električnom kolu. I pored činjenice da se preporučuje

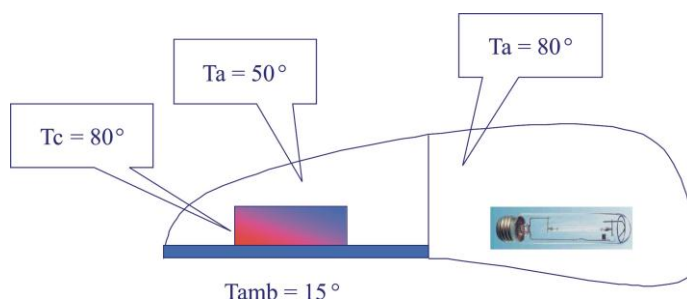
upotreba polipropilenskih film kondenzatora, zbog manje cene i veće otpornosti na naponske pikove, aluminijumski elektrolitski kondenzatori su i dalje više zastupljeni. Njihov životni vek u mnogome zavisi od povišene radne temperature, a može se definisati kao vreme za koje će kondenzator raditi u specificiranim granicama radnog napona, kapacitivnosti i temperature. Kao što je rečeno u delu o kondenzatorima, za nominalnu temperaturu kućišta balasta od 90°C može se očekivati da elektrolitski kondenzatori rade u prihvatljivim granicama i do 10 godina.

Sve komponente u električnom kolu sijalice radiće pravilno ukoliko rade u okviru svojih specificiranih granica, što se takođe odnosi i na elektronska kola. Ukoliko to nije slučaj, životni vek svake od komponenti će se drastično smanjiti. Problemi koji mogu nastati su posledica varijacija napona/struje ili temperature u kolu elektronskog balasta. Postoji značajna razlika između konvencionalnih i elektronskih balasta u pogledu zavisnosti životnog veka od temperaturnih uslova. Kada je elektronski balast smešten u svetiljci, stvarnu temperaturu ambijenta je veoma teško izmeriti (podsećanja radi, temperatura ambijenta je temperatura mikrokruženja balasta unutar svetiljke, a ne spoljne sredine). Pošto temperatura vazduha unutar svetiljke raste, neophodno je da se definiše maksimalno dozvoljena temperatura spoljnog ambijenta za koju će sve elektronske komponente raditi na temperaturi nižoj od maksimalno dozvoljene (apsolutne) temperature za svaku od komponenti pojedinačno.

Upravo iz ovog razloga uveden je pojam temperature kućišta T_c (case temperature). Praktično, ovo je temperatura kućišta balasta koja može biti izmerena primenom termoparova u određenoj tački, a definisana je kao maksimalno dozvoljena temperatura na kojoj se garantuje bezbedan rad uređaja. Istovremeno, ovakva temperatura je definisana u skladu sa životnim vekom balasta, pa se na osnovu izmerene vrednosti T_c može sa velikom preciznošću proceniti koliki će biti životni vek (npr. kod balasta proizvođača Osram dostiže se nominalni životni vek pri maksimalno dozvoljenoj temperaturi kućišta [16]). U praksi, za svaku temperature ispod maksimalno dozvoljene, životni vek prigušnice će se produžiti (ukoliko je temperatura 10°C ispod dozvoljene T_c , životni vek će se udvostručiti). Ipak, nije moguće odrediti jedinstvenu (apsolutnu) vrednost za T_c , pre svega iz razloga što mernu tačku definišu sami proizvođači. Zato se može dogoditi da elektronski balasti dostignu samo 50% nominalnog životnog veka pri temperaturi T_c . Na slici 66 prikazana je gornja strana elektronskog balasta proizvođača Philips, na kojoj se mogu videti pozicija merne tačke (u donjem crvenom okviru) i vrednosti temperature ambijenta T_a , kućišta T_c i maksimalno trajno dozvoljene temperature kućišta T_{max} (gornji crveni okvir). Na slici 67 prikazane su tipične temperature u jednoj svetiljci za ulično osvetljenje koja ima razdvojen optički blok od dela sa predspojnom opremom (date su temperature ambijenta za oba odeljka).



Slika 66. Merna tačka i tipične temperature [37]



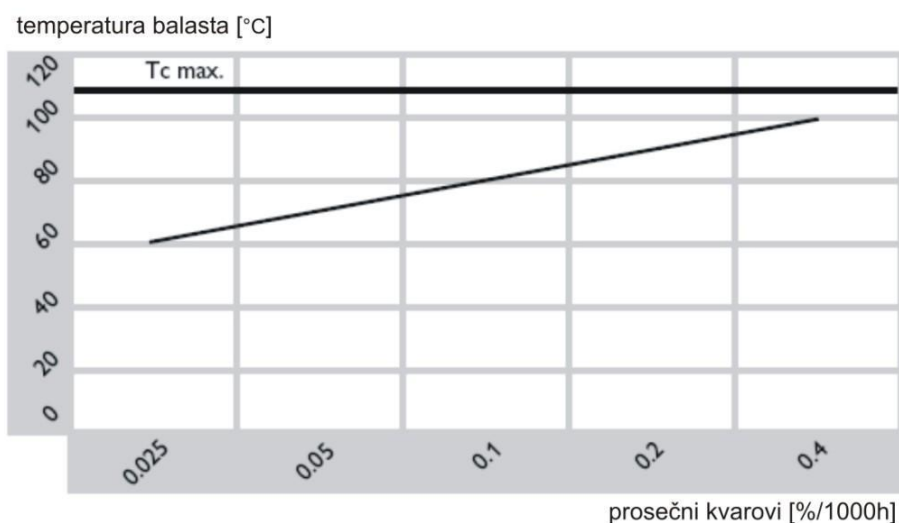
Slika 67. Tipične temperature u svetiljci za ulično osvetljenje [37]

Maksimalno dozvoljena temperatura ambijenta T_a je data formulom [2]:

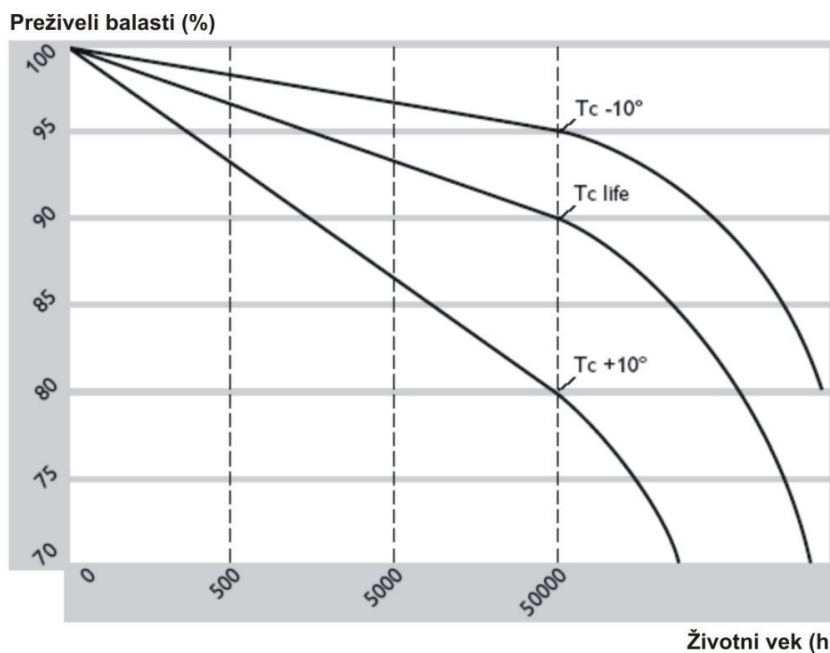
$$T_a = T_{\max} - \Delta T \quad (14)$$

gde je $T_{\max}$ – maksimalno dozvoljena temperatura kućišta u mernoj tački, a ΔT – sopstveno zagrevanje prigušnice.

Uobičajena vrednost za maksimalnu temperaturu ambijenta iznosi 50°C , a definiše se i minimalna vrednost temperature ambijenta koja za natrijumove izvore visokog pritiska najčešće iznosi -20°C . Uobičajena (nominalna) vrednost za T_c iznosi 90°C , dok maksimalna vrednost temperature kućišta iznosi obično oko 115°C (za npr. elektronski balast tipa HID - PrimaVision, proizvođača Philips [2]). Životni vek elektronskog balasta veoma zavisi od temperature njegovih komponenti (slike 68 i 69).



Slika 68. Stopa kvara u zavisnosti od temperature balasta T_c [2]



Slika 69. Procenat preživelih balasta u zavisnosti od temperature balasta T_c [2]

Sa slike 68 može da se zaključi da prosečan procenat pregorelih balasta iznosi približno 1% na 3000h. Ove vrednosti su validne za nominalnu temperaturu balasta.

3.3.6. POREĐENJE ELEKTROMAGNETSKIH I ELEKTRONSKIH BALASTA

U tabeli 1 su prikazane razlike u osnovnim karakteristikama elektromagnetskih i elektronskih balasta. Ono što je za predmetnu analizu bitno su pre svega životni vek balasta, efikasnost sistema sijalica-balast i faktor snage.

Tabela 1. Poređenje osnovnih karakteristika elektromagnetskih i elektronskih balasta

KRITERIJUM	ELEKTROMAGNETSKI BALAST	ELEKTRONSKI BALAST
POTROŠNJA EL. ENERGIJE [%]	100	10 do 15% manje u toku radnog veka
ŽIVOTNI VEK BALASTA [god]	20	10
ŽIVOTNI VEK IZVORA [god]	4	Do 30% više u zavisnosti od tipa sijalice i načina primene *
STARTOVANJE IZVORA	Zavisí od tipa. Obično 60 do 90 sekundi do dostizanja 90% vrednosti svetlosnog fluksa	Do 50% brže.
BOJA SVETLOSTI	Moguće promene boje, temperatura boje nije stabilna	Nema varijacija tokom životnog veka
CIKLIČNO PALJENJE/GAŠENJE IZVORA NA KRAJU ŽIVOTNOG VEKA	Nije moguće sprečiti, ili samo putem dodatnih vremenskih kola u upaljaču	Stalna kontrola parametara, inteligentni mehanizmi gašenja - vreme startovanja ograničeno na približno 20 minuta
TREPERENJE SVETLOSTI	Vidljivo	Nema treperenja zbog rada na učestanosti preko 70 Hz
SNAGA IZVORA	Povećava se tokom životnog veka sijalice (i do 30%), zavisí od fluktuacija temperature i ulaznog napona	±3% tokom čitavog životnog veka, nezavisno od temperature ili ulaznog napona
KONSTRUKCIJA	3 komponente, složeno ožičenje	1 komponenta, jednostavno ožičenje
VELIČINA I TEŽINA	Velika težina i dimenzije	Veoma lak (i do 60% lakši) i manjih dimenzija
FAKTOR SNAGE	O.80-0.92, značajne varijacije usled starenja	> 0.95
STRUJA	Sinusoidalni talasni oblik, sa pikovima 40% većim od efektivne vrednosti	Pravougaoni talasni oblik na niskoj učestanosti što produžuje životni vek izvora
PROMENA POLARITETA STRUJE	Relativno dugi intervali niskih vrednosti struja u blizini "zero-crossing" tačke na strujnom dijagramu	Brža promena smera struje tokom periode (viša frekvencija), minimalni periodi niskih vrednosti struje produžuju životni vek izvora
NAPON	Trapezoidni talasni oblik	Pravougaoni talasni oblik
PONOVNO STARTOVANJE ("zero crossing" tačka)	Potrebno, što rezultuje trapezoidnim oblikom naponskog talasa	Nije potrebno tokom stabilnog rada izvora

* - važno je reći da će se u tehno-ekonomskoj analizi koja sledi uzeti da je životni vek natrijumovih izvora 16000h (4 godine) pri radu sa elektromagnetskim balastima, a 20000h (5 godina) pri radu sa elektronskim balastima (u tehničkim specifikacijama većine proizvođača balasta tvrdi se da se upotrebom elektronskog balasta životni vek sijalice produžava za oko 30%).

4. KOMPARATIVNA ANALIZA ELEKTROMAGNETSKIH I ELEKTRONSKIH BALASTA

4.1 UTICAJ STARENJA DELOVA SVETILJKE NA NJENE ELEKTRIČNE KARAKTERISTIKE

Nakon što su u prethodnom poglavlju predstavljene karakteristike predspojnih uređaja u električnom kolu natrijumovog izvora visokog pritiska, ovo poglavlje tretira njihov rad u realnoj situaciji i određuje uticaj starenja delova svetiljke na potrošnju električne energije.

Ovde se treba podsetiti životnog veka svake od električnih komponenti u svetiljci:

- elektronski balast – 10 godina
- elektromagnetski balast – 20 godina
- kondenzator – 10 godina
- upaljač – 20 godina
- sijalica – 4 godine (5 godina pri radu sa elektronskim balastom)
- ostali delovi svetiljke – 20 godina.

U određivanju ovih vrednosti išlo se na stranu sigurnosti, tj. uzete su nepovoljnije vrednosti poređenjem iskustava iz prakse i katalogskih podataka renomiranih proizvođača.

Poznajući životni vek svake od električnih komponenti u svetiljci, na osnovu programa za simulaciju izvršena je analiza promene električnih parametara jedne instalacije za period od 20 godina (period koji je identičan sa prosečnim očekivanim životnim vekom elektromagnetskih balasta). Korišćen je program za simulaciju *Simulation C2E HID* kompanije Philips.

Na osnovu nezavisno unetih vrednosti mrežnog napona, starosti izvora i starosti kompletne instalacije izračunavaju se vrednosti struje, faktora snage, snage sijalice i ukupne snage svetiljke za oba tipa balasta. Poređeni su standardni elektromagnetski balast iz familije *BSN* i elektronski balast tipa *PrimaVision SON/CDO*.

Predmetna analiza tretira samo natrijumove izvore, i to iz nekoliko razloga:

- Najzastupljeniji su u instalacijama javnog osvetljenja (ne računajući živine izvore, koji su prevaziđeni i potpuno izlaze iz upotrebe),
- Značajno se efikasniji od metal-halogenih izvora (svetlosna iskoristivost najkvalitetnijih natrijumovih izvora ide čak do 150 lm/W (tipa SON Plus (Philips) ili NAV Super (Osram)), dok u slučaju najnovijih metal-halogenih sijalica sa keramičkim gorionikom (tipa HCI (Osram) ili CDM (Philips)), svetlosna iskoristivost ne prelazi 95 lm/W),
- Imaju značajno duži životni vek (ide i preko 20000h, dok u slučaju najdugovečnijih metal-halogenih sijalica životni vek ne prelazi 8000h),
- Značajno su jeftiniji od metal-halogenih izvora. Primera radi, kvalitetan natrijumov izvor snage 150W (npr. tipa SON-T Plus (Philips)) košta manje od 1000 dinara, dok za kvalitetan metal-halogeni izvor sa keramičkim gorionikom iste snage (npr. tipa CDO-TT (Philips)) treba izdvojiti oko 4000 dinara,
- Iako je reprodukcija boja značajno lošija kod natrijumovih ($R_a \sim 25$) nego kod metal-halogenih izvora ($R_a > 80$ kod izvora sa keramičkim gorionikom), ona nije od preteranog značaja za reakciju vozača u standardnim saobraćajnim uslovima.

Rezultati su sređeni tabelarno (tabele 2-76), čijom se analizom mogu izvesti sledeći zaključci:

- Usvajajući mrežni napon od 230V kao nominalan, može se videti da se snaga svetiljke u slučaju elektronskih balasta održava praktično konstantnom (ili u prihvatljivom opsegu tolerancije) u mnogo širem opsegu varijacija napona (-13%/+30%) nego u slučaju elektromagnetskih balasta (gde taj opseg iznosi -10%/+10%).
- Starenje izvora utiče na snagu balasta, pri čemu povećanje snage elektromagnetskog balasta tokom perioda od 20 godina iznosi približno 20% (npr. 18% u slučaju izvora snage 70W (sa 83W na 98W), a samo približno 3% u slučaju elektronskih balasta (npr. 2.5% u slučaju izvora snage 70W (sa 79W na 81W))).
- Sa starenjem instalacije faktor snage u slučaju elektromagnetskih balasta značajno opada (npr. za sijalice snage 70W sa 0.92 na 0.65), dok je u slučaju elektronskih balasta on praktično nepromenjen tokom perioda od 20 godina. Na značajno opadanje faktora snage u slučaju primene elektromagnetskih balasta pre svega utiče starenje kondenzatora koji polako gubi svoju kompenzacionu funkciju, usled čega se povećava prividna snaga sistema.
- Snaga elektronskog balasta (gubici u kolu sijalice) manja je nego snaga elektromagnetskog balasta, i to u proseku za 35%. Posledično je ukupna snaga svetiljke u proseku manja za oko 5% u slučaju elektronskog balasta.

Tabela 2: nova instalacija, izvor SON-T 70W

U [V]	I[A] za elektromagnetski balast	I[A] za elektronski balast	Faktor snage PF za elektromagnetski balast	Faktor snage PF za elektronski balast	Psijalica [%] za elektromagnetski balast	Psijalica [%] za elektronski balast	Psistema [W] za elektromagnetski balast	Psistema [W] za elektronski balast	starost instalacije [god]	starost izvora [h]
300	0.44	0.27	0.92	0.98	146	101	121	80	0	100
290	0.43	0.28	0.92	0.98	139	101	116	80	0	100
280	0.43	0.29	0.92	0.98	133	101	111	80	0	100
270	0.42	0.30	0.92	0.98	126	101	105	80	0	100
260	0.42	0.31	0.92	0.98	120	101	100	80	0	100
250	0.41	0.33	0.92	0.98	113	100	94	80	0	100
240	0.40	0.34	0.92	0.98	107	100	89	80	0	100
230	0.39	0.35	0.92	0.98	100	100	83	79	0	100
220	0.38	0.37	0.92	0.98	93	100	78	79	0	100
210	0.38	0.38	0.92	0.98	87	100	72	79	0	100
200	0.36	0.40	0.92	0.98	80	99	67	79	0	100
190	0.35	0.37	0.92	0.98	74	87	62	69	0	100
180	0.34	0.33	0.92	0.98	67	74	56	59	0	100
170	0	0.29	x	0.98	0	61	0	48	0	100
160	0	0.24	x	0.98	0	48	0	38	0	100
150	0	0	x	x	0	0	0	0	0	100

Tabela 3: 1 godina, izvor SON-T 70W

U [V]	I[A] za elektromagnetski balast	I[A] za elektronski balast	Faktor snage PF za elektromagnetski balast	Faktor snage PF za elektronski balast	Psijalica [%] za elektromagnetski balast	Psijalica [%] za elektronski balast	Psistema [W] za elektromagnetski balast	Psistema [W] za elektronski balast	starost instalacije [god]	starost izvora [h]
300	0.46	0.27	0.91	0.98	150	102	125	81	1	4015
290	0.45	0.28	0.91	0.98	144	102	120	81	1	4015
280	0.45	0.29	0.91	0.98	137	101	114	81	1	4015
270	0.44	0.30	0.91	0.98	130	101	109	80	1	4015
260	0.44	0.31	0.91	0.98	124	101	103	80	1	4015
250	0.43	0.33	0.91	0.98	117	101	98	80	1	4015
240	0.42	0.34	0.91	0.98	111	101	92	80	1	4015
230	0.42	0.35	0.91	0.98	104	100	87	80	1	4015
220	0.41	0.37	0.91	0.98	98	100	82	80	1	4015
210	0.40	0.39	0.91	0.98	91	100	76	80	1	4015
200	0.39	0.41	0.91	0.98	85	100	71	79	1	4015
190	0.38	0.37	0.91	0.98	78	87	65	69	1	4015
180	0.37	0.33	0.91	0.98	72	74	60	59	1	4015
170	0	0.29	x	0.98	0	61	0	49	1	4015
160	0	0.24	x	0.98	0	48	0	38	1	4015
150	0	0	x	x	0	0	0	0	1	4015

Tabela 4: 2 godine, izvor SON-T 70W

U [V]	I[A] za elektromagnetski balast	I[A] za elektronski balast	Faktor snage PF za elektromagnetski balast	Faktor snage PF za elektronski balast	Psijalica [%] za elektromagnetski balast	Psijalica [%] za elektronski balast	Psistema [W] za elektromagnetski balast	Psistema [W] za elektronski balast	starost instalacije [god]	starost izvora [h]
300	0.48	0.28	0.89	0.98	155	102	129	81	2	8030
290	0.48	0.29	0.89	0.98	148	102	123	81	2	8030
280	0.47	0.29	0.89	0.98	142	102	118	81	2	8030
270	0.47	0.31	0.89	0.98	135	102	113	81	2	8030
260	0.46	0.32	0.89	0.98	128	102	107	81	2	8030
250	0.46	0.33	0.89	0.98	122	101	102	80	2	8030
240	0.45	0.34	0.89	0.98	115	101	96	80	2	8030
230	0.44	0.36	0.89	0.98	109	101	91	80	2	8030
220	0.43	0.37	0.89	0.98	102	101	85	80	2	8030
210	0.43	0.39	0.89	0.98	96	101	80	80	2	8030
200	0.42	0.41	0.89	0.98	89	100	74	80	2	8030
190	0.41	0.38	0.89	0.98	83	88	69	70	2	8030
180	0.40	0.34	0.89	0.98	76	75	64	59	2	8030
170	0	0.29	x	0.98	0	62	0	49	2	8030
160	0	0.25	x	0.98	0	49	0	39	2	8030
150	0	0	x	x	0	0	0	0	2	8030

Tabela 5: 3 godine, izvor SON-T 70W

U [V]	I[A] za elektromagnetski balast	I[A] za elektronski balast	Faktor snage PF za elektromagnetski balast	Faktor snage PF za elektronski balast	Psijalica [%] za elektromagnetski balast	Psijalica [%] za elektronski balast	Psistema [W] za elektromagnetski balast	Psistema [W] za elektronski balast	starost instalacije [god]	starost izvora [h]
300	0.50	0.28	0.88	0.98	159	103	133	82	3	12045
290	0.50	0.29	0.88	0.98	153	103	127	81	3	12045
280	0.49	0.30	0.88	0.98	146	102	122	81	3	12045
270	0.49	0.31	0.88	0.98	140	102	116	81	3	12045
260	0.48	0.32	0.88	0.98	133	102	111	81	3	12045
250	0.48	0.33	0.88	0.98	126	102	105	81	3	12045
240	0.47	0.34	0.88	0.98	120	102	100	81	3	12045
230	0.47	0.36	0.88	0.98	113	101	95	81	3	12045
220	0.46	0.37	0.88	0.98	107	101	89	80	3	12045
210	0.45	0.39	0.88	0.98	100	101	84	80	3	12045
200	0.44	0.41	0.88	0.98	94	101	78	80	3	12045
190	0.44	0.38	0.88	0.98	87	88	73	70	3	12045
180	0.43	0.34	0.88	0.98	81	75	67	60	3	12045
170	0	0.30	x	0.98	0	62	0	50	3	12045
160	0	0.25	x	0.98	0	49	0	39	3	12045
150	0	0	x	x	0	0	0	0	3	12045

Tabela 6: 4 godine, izvor SON-T 70W

U [V]	I[A] za elektromagnetski balast	I[A] za elektronski balast	Faktor snage PF za elektromagnetski balast	Faktor snage PF za elektronski balast	Psijalice [%] za elektromagnetski balast	Psijalice [%] za elektronski balast	Psistema [W] za elektromagnetski balast	Psistema [W] za elektronski balast	starost instalacije [god]	starost izvora [h]
300	0.52	0.28	0.87	0.98	164	103	136	82	4	16060
290	0.52	0.29	0.87	0.98	139	103	131	82	4	16060
280	0.52	0.30	0.87	0.98	151	103	125	82	4	16060
270	0.51	0.31	0.87	0.98	144	103	120	82	4	16060
260	0.51	0.32	0.87	0.98	138	103	115	81	4	16060
250	0.50	0.33	0.87	0.98	131	102	109	81	4	16060
240	0.50	0.35	0.87	0.98	124	102	104	81	4	16060
230	0.49	0.36	0.87	0.98	118	102	98	81	4	16060
220	0.49	0.38	0.87	0.98	111	102	93	81	4	16060
210	0.48	0.39	0.87	0.98	105	102	87	81	4	16060
200	0.47	0.41	0.87	0.98	98	101	82	81	4	16060
190	0.46	0.38	0.87	0.98	92	89	77	71	4	16060
180	0.46	0.34	0.87	0.98	85	76	71	60	4	16060
170	0	0.30	x	0.98	0	63	0	50	4	16060
160	0	0.25	x	0.98	0	50	0	40	4	16060
150	0	0	x	x	0	0	0	0	4	16060

Tabela 7: 4 godine - zamena izvora, izvor SON-T 70W

U [V]	I[A] za elektromagnetski balast	I[A] za elektronski balast	Faktor snage PF za elektromagnetski balast	Faktor snage PF za elektronski balast	Psijalice [%] za elektromagnetski balast	Psijalice [%] za elektronski balast	Psistema [W] za elektromagnetski balast	Psistema [W] za elektronski balast	starost instalacije [god]	starost izvora [h]
300	0.47	0.27	0.87	0.98	146	101	121	80	4	100
290	0.46	0.28	0.87	0.98	139	101	116	80	4	100
280	0.46	0.29	0.87	0.98	133	101	111	80	4	100
270	0.45	0.30	0.87	0.98	126	101	105	80	4	100
260	0.44	0.31	0.87	0.98	120	101	100	80	4	100
250	0.43	0.33	0.87	0.98	113	100	94	80	4	100
240	0.43	0.34	0.87	0.98	107	100	89	80	4	100
230	0.42	0.35	0.87	0.98	100	100	83	79	4	100
220	0.41	0.37	0.87	0.98	93	100	78	79	4	100
210	0.40	0.38	0.87	0.98	87	100	72	79	4	100
200	0.39	0.40	0.87	0.98	80	99	67	79	4	100
190	0.37	0.37	0.87	0.98	74	87	62	69	4	100
180	0.36	0.33	0.87	0.98	67	74	56	59	4	100
170	0	0.29	x	0.98	0	61	0	48	4	100
160	0	0.24	x	0.98	0	48	0	38	4	100
150	0	0	x	x	0	0	0	0	4	100

Tabela 8: 5 godina, izvor SON-T 70W

U [V]	I[A] za elektromagnetski balast	I[A] za elektronski balast	Faktor snage PF za elektromagnetski balast	Faktor snage PF za elektronski balast	Psijalice [%] za elektromagnetski balast	Psijalice [%] za elektronski balast	Psistema [W] za elektromagnetski balast	Psistema [W] za elektronski balast	starost instalacije [god]	starost izvora [h]
300	0.49	0.27	0.85	0.98	150	102	125	81	5	4015
290	0.48	0.28	0.85	0.98	144	102	120	81	5	4015
280	0.48	0.29	0.85	0.98	137	101	114	81	5	4015
270	0.47	0.30	0.85	0.98	130	101	109	80	5	4015
260	0.47	0.31	0.85	0.98	124	101	103	80	5	4015
250	0.46	0.33	0.85	0.98	117	101	98	80	5	4015
240	0.45	0.34	0.85	0.98	111	101	92	80	5	4015
230	0.44	0.35	0.85	0.98	104	100	87	80	5	4015
220	0.43	0.37	0.85	0.98	98	100	82	80	5	4015
210	0.42	0.39	0.85	0.98	91	100	76	80	5	4015
200	0.41	0.41	0.85	0.98	85	100	71	79	5	4015
190	0.40	0.37	0.85	0.98	78	87	65	69	5	4015
180	0.39	0.33	0.85	0.98	72	74	60	59	5	4015
170	0	0.29	x	0.98	0	61	0	49	5	4015
160	0	0.24	x	0.98	0	48	0	38	5	4015
150	0	0	x	x	0	0	0	0	5	4015

Tabela 9: 6 godina, izvor SON-T 70W

U [V]	I[A] za elektromagnetski balast	I[A] za elektronski balast	Faktor snage PF za elektromagnetski balast	Faktor snage PF za elektronski balast	Psijalice [%] za elektromagnetski balast	Psijalice [%] za elektronski balast	Psistema [W] za elektromagnetski balast	Psistema [W] za elektronski balast	starost instalacije [god]	starost izvora [h]
300	0.51	0.28	0.84	0.98	155	102	129	81	6	8030
290	0.51	0.29	0.84	0.98	148	102	123	81	6	8030
280	0.50	0.29	0.84	0.98	142	102	118	81	6	8030
270	0.50	0.31	0.84	0.98	135	102	113	81	6	8030
260	0.49	0.32	0.84	0.98	128	102	107	81	6	8030
250	0.48	0.33	0.84	0.98	122	101	102	80	6	8030
240	0.48	0.34	0.84	0.98	115	101	96	80	6	8030
230	0.47	0.36	0.84	0.98	109	101	91	80	6	8030
220	0.46	0.37	0.84	0.98	102	101	85	80	6	8030
210	0.45	0.39	0.84	0.98	96	101	80	80	6	8030
200	0.44	0.41	0.84	0.98	89	100	74	80	6	8030
190	0.43	0.38	0.84	0.98	83	88	69	70	6	8030
180	0.42	0.34	0.84	0.98	76	75	64	59	6	8030
170	0	0.29	x	0.98	0	62	0	49	6	8030
160	0	0.25	x	0.98	0	49	0	39	6	8030
150	0	0	x	x	0	0	0	0	6	8030

Tabela 10: 7 godina, izvor SON-T 70W

U [V]	I[A] za elektromagnetski balast	I[A] za elektronski balast	Faktor snage PF za elektromagnetski balast	Faktor snage PF za elektronski balast	Psijalica [%] za elektromagnetski balast	Psijalica [%] za elektronski balast	Psistema [W] za elektromagnetski balast	Psistema [W] za elektronski balast	starost instalacije [god]	starost izvora [h]
300	0.53	0.28	0.83	0.98	159	103	133	82	7	12045
290	0.53	0.29	0.83	0.98	153	103	127	81	7	12045
280	0.53	0.30	0.83	0.98	146	102	122	81	7	12045
270	0.52	0.31	0.83	0.98	140	102	116	81	7	12045
260	0.52	0.32	0.83	0.98	133	102	111	81	7	12045
250	0.51	0.33	0.83	0.98	126	102	105	81	7	12045
240	0.50	0.34	0.83	0.98	120	102	100	81	7	12045
230	0.50	0.36	0.83	0.98	113	101	95	81	7	12045
220	0.49	0.37	0.83	0.98	107	101	89	80	7	12045
210	0.48	0.39	0.83	0.98	100	101	84	80	7	12045
200	0.47	0.41	0.83	0.98	94	101	78	80	7	12045
190	0.46	0.38	0.83	0.98	87	88	73	70	7	12045
180	0.45	0.34	0.83	0.98	81	75	67	60	7	12045
170	0	0.30	x	0.98	0	62	0	50	7	12045
160	0	0.25	x	0.98	0	49	0	39	7	12045
150	0	0	x	x	0	0	0	0	7	12045

Tabela 11: 8 godina, izvor SON-T 70W

U [V]	I[A] za elektromagnetski balast	I[A] za elektronski balast	Faktor snage PF za elektromagnetski balast	Faktor snage PF za elektronski balast	Psijalica [%] za elektromagnetski balast	Psijalica [%] za elektronski balast	Psistema [W] za elektromagnetski balast	Psistema [W] za elektronski balast	starost instalacije [god]	starost izvora [h]
300	0.56	0.28	0.81	0.98	164	103	136	82	8	16060
290	0.55	0.29	0.81	0.98	157	103	131	82	8	16060
280	0.55	0.30	0.81	0.98	151	103	125	82	8	16060
270	0.55	0.31	0.81	0.98	144	103	120	82	8	16060
260	0.54	0.32	0.81	0.98	138	103	115	81	8	16060
250	0.54	0.33	0.81	0.98	131	102	109	81	8	16060
240	0.53	0.35	0.81	0.98	124	102	104	81	8	16060
230	0.53	0.36	0.81	0.98	118	102	98	81	8	16060
220	0.52	0.38	0.81	0.98	111	102	93	81	8	16060
210	0.51	0.39	0.81	0.98	105	102	87	81	8	16060
200	0.50	0.41	0.81	0.98	98	101	82	81	8	16060
190	0.50	0.38	0.81	0.98	92	89	77	71	8	16060
180	0.49	0.34	0.81	0.98	85	76	71	60	8	16060
170	0	0.30	x	0.98	0	63	0	50	8	16060
160	0	0.25	x	0.98	0	50	0	40	8	16060
150	0	0	x	x	0	0	0	0	8	16060

Tabela 12: 8 godina - zamena izvora, izvor SON-T 70W

U [V]	I[A] za elektromagnetski balast	I[A] za elektronski balast	Faktor snage PF za elektromagnetski balast	Faktor snage PF za elektronski balast	Psijalica [%] za elektromagnetski balast	Psijalica [%] za elektronski balast	Psistema [W] za elektromagnetski balast	Psistema [W] za elektronski balast	starost instalacije [god]	starost izvora [h]
300	0.50	0.27	0.81	0.98	146	101	121	80	8	100
290	0.49	0.28	0.81	0.98	139	101	116	80	8	100
280	0.49	0.29	0.81	0.98	133	101	111	80	8	100
270	0.48	0.30	0.81	0.98	126	101	105	80	8	100
260	0.47	0.31	0.81	0.98	120	101	100	80	8	100
250	0.46	0.33	0.81	0.98	113	100	94	80	8	100
240	0.45	0.34	0.81	0.98	107	100	89	80	8	100
230	0.45	0.35	0.81	0.98	100	100	83	79	8	100
220	0.44	0.37	0.81	0.98	93	100	78	79	8	100
210	0.42	0.38	0.81	0.98	87	100	72	79	8	100
200	0.41	0.40	0.81	0.98	80	99	67	79	8	100
190	0.40	0.37	0.81	0.98	74	87	62	69	8	100
180	0.38	0.33	0.81	0.98	67	74	56	59	8	100
170	0	0.29	x	0.98	0	61	0	48	8	100
160	0	0.24	x	0.98	0	48	0	38	8	100
150	0	0	x	x	0	0	0	0	8	100

Tabela 13: 9 godina, izvor SON-T 70W

U [V]	I[A] za elektromagnetski balast	I[A] za elektronski balast	Faktor snage PF za elektromagnetski balast	Faktor snage PF za elektronski balast	Psijalica [%] za elektromagnetski balast	Psijalica [%] za elektronski balast	Psistema [W] za elektromagnetski balast	Psistema [W] za elektronski balast	starost instalacije [god]	starost izvora [h]
300	0.52	0.27	0.80	0.98	150	102	125	81	9	4015
290	0.52	0.28	0.80	0.98	144	102	120	81	9	4015
280	0.51	0.29	0.80	0.98	137	101	114	81	9	4015
270	0.50	0.30	0.80	0.98	130	101	109	80	9	4015
260	0.50	0.31	0.80	0.98	124	101	103	80	9	4015
250	0.49	0.33	0.80	0.98	117	101	98	80	9	4015
240	0.48	0.34	0.80	0.98	111	101	92	80	9	4015
230	0.47	0.35	0.80	0.98	104	100	87	80	9	4015
220	0.46	0.37	0.80	0.98	98	100	82	80	9	4015
210	0.45	0.39	0.80	0.98	91	100	76	80	9	4015
200	0.44	0.41	0.80	0.98	85	100	71	79	9	4015
190	0.43	0.37	0.80	0.98	78	87	65	69	9	4015
180	0.42	0.33	0.80	0.98	72	74	60	59	9	4015
170	0	0.29	x	0.98	0	61	0	49	9	4015
160	0	0.24	x	0.98	0	48	0	38	9	4015
150	0	0	x	x	0	0	0	0	9	4015

Tabela 14: 10 godina, izvor SON-T 70W

ZAMENA ELEKTRONSKOG BALASTA I KONDENZATORA

U [V]	I[A] za elektromagnetski balast	I[A] za elektronski balast	Faktor snage PF za elektromagnetski balast	Faktor snage PF za elektronski balast	Psijalica [%] za elektromagnetski balast	Psijalica [%] za elektronski balast	Psistema [W] za elektromagnetski balast	Psistema [W] za elektronski balast	starost instalacije [god]	starost izvora [h]
300	0.55	0.28	0.79	0.98	155	102	129	81	10	8030
290	0.54	0.29	0.79	0.98	148	102	123	81	10	8030
280	0.54	0.29	0.79	0.98	142	102	118	81	10	8030
270	0.53	0.31	0.79	0.98	135	102	113	81	10	8030
260	0.52	0.32	0.79	0.98	128	102	107	81	10	8030
250	0.52	0.33	0.79	0.98	122	101	102	80	10	8030
240	0.51	0.34	0.79	0.98	115	101	96	80	10	8030
230	0.50	0.36	0.79	0.98	109	101	91	80	10	8030
220	0.49	0.37	0.79	0.98	102	101	85	80	10	8030
210	0.48	0.39	0.79	0.98	96	101	80	80	10	8030
200	0.47	0.41	0.79	0.98	89	100	74	80	10	8030
190	0.46	0.38	0.79	0.98	83	88	69	70	10	8030
180	0.45	0.34	0.79	0.98	76	75	64	59	10	8030
170	0	0.29	x	0.98	0	62	0	49	10	8030
160	0	0.25	x	0.98	0	49	0	39	10	8030
150	0	0	x	x	0	0	0	0	10	8030

Tabela 15: 11 godina, izvor SON-T 70W

U [V]	I[A] za elektromagnetski balast	I[A] za elektronski balast	Faktor snage PF za elektromagnetski balast	Faktor snage PF za elektronski balast	Psijalica [%] za elektromagnetski balast	Psijalica [%] za elektronski balast	Psistema [W] za elektromagnetski balast	Psistema [W] za elektronski balast	starost instalacije [god]	starost izvora [h]
300	0.57	0.28	0.77	0.98	159	103	133	82	11	12045
290	0.57	0.29	0.77	0.98	153	103	127	81	11	12045
280	0.56	0.30	0.77	0.98	146	102	122	81	11	12045
270	0.56	0.31	0.77	0.98	140	102	116	81	11	12045
260	0.55	0.32	0.77	0.98	133	102	111	81	11	12045
250	0.55	0.33	0.77	0.98	126	102	105	81	11	12045
240	0.54	0.34	0.77	0.98	120	102	100	81	11	12045
230	0.53	0.36	0.77	0.98	113	101	95	81	11	12045
220	0.52	0.37	0.77	0.98	107	101	89	80	11	12045
210	0.52	0.39	0.77	0.98	100	101	84	80	11	12045
200	0.51	0.41	0.77	0.98	94	101	78	80	11	12045
190	0.50	0.38	0.77	0.98	87	88	73	70	11	12045
180	0.48	0.34	0.77	0.98	81	75	67	60	11	12045
170	0	0.30	x	0.98	0	62	0	50	11	12045
160	0	0.25	x	0.98	0	49	0	39	11	12045
150	0	0	x	x	0	0	0	0	11	12045

Tabela 16: 12 godina, izvor SON-T 70W

U [V]	I[A] za elektromagnetski balast	I[A] za elektronski balast	Faktor snage PF za elektromagnetski balast	Faktor snage PF za elektronski balast	Psijalica [%] za elektromagnetski balast	Psijalica [%] za elektronski balast	Psistema [W] za elektromagnetski balast	Psistema [W] za elektronski balast	starost instalacije [god]	starost izvora [h]
300	0.60	0.28	0.76	0.98	164	103	136	82	12	16060
290	0.59	0.29	0.76	0.98	157	103	131	82	12	16060
280	0.59	0.30	0.76	0.98	151	103	125	82	12	16060
270	0.58	0.31	0.76	0.98	144	103	120	82	12	16060
260	0.58	0.32	0.76	0.98	138	103	115	81	12	16060
250	0.57	0.33	0.76	0.98	131	102	109	81	12	16060
240	0.57	0.35	0.76	0.98	124	102	104	81	12	16060
230	0.56	0.36	0.76	0.98	118	102	98	81	12	16060
220	0.56	0.38	0.76	0.98	111	102	93	81	12	16060
210	0.55	0.39	0.76	0.98	105	102	87	81	12	16060
200	0.54	0.41	0.76	0.98	98	101	82	81	12	16060
190	0.53	0.38	0.76	0.98	92	89	77	71	12	16060
180	0.52	0.34	0.76	0.98	85	76	71	60	12	16060
170	0	0.30	x	0.98	0	63	0	50	12	16060
160	0	0.25	x	0.98	0	50	0	40	12	16060
150	0	0	x	x	0	0	0	0	12	16060

Tabela 17: 12 godina - zamena izvora, izvor SON-T 70W

U [V]	I[A] za elektromagnetski balast	I[A] za elektronski balast	Faktor snage PF za elektromagnetski balast	Faktor snage PF za elektronski balast	Psijalica [%] za elektromagnetski balast	Psijalica [%] za elektronski balast	Psistema [W] za elektromagnetski balast	Psistema [W] za elektronski balast	starost instalacije [god]	starost izvora [h]
300	0.53	0.27	0.76	0.98	146	101	121	80	12	100
290	0.53	0.28	0.76	0.98	139	101	116	80	12	100
280	0.52	0.29	0.76	0.98	133	101	111	80	12	100
270	0.51	0.30	0.76	0.98	126	101	105	80	12	100
260	0.50	0.31	0.76	0.98	120	101	100	80	12	100
250	0.50	0.33	0.76	0.98	113	100	94	80	12	100
240	0.49	0.34	0.76	0.98	107	100	89	80	12	100
230	0.48	0.35	0.76	0.98	100	100	83	79	12	100
220	0.47	0.37	0.76	0.98	93	100	78	79	12	100
210	0.45	0.38	0.76	0.98	87	100	72	79	12	100
200	0.44	0.40	0.76	0.98	80	99	67	79	12	100
190	0.43	0.37	0.76	0.98	74	87	62	69	12	100
180	0.41	0.33	0.76	0.98	67	74	56	59	12	100
170	0	0.29	x	0.98	0	61	0	48	12	100
160	0	0.24	x	0.98	0	48	0	38	12	100
150	0	0	x	x	0	0	0	0	12	100

Tabela 18: 13 godina, izvor SON-T 70W

U [V]	I[A] za elektromagnetski balast	I[A] za elektronski balast	Faktor snage PF za elektromagnetski balast	Faktor snage PF za elektronski balast	Psjalice [%] za elektromagnetski balast	Psjalice [%] za elektronski balast	Psistema [W] za elektromagnetski balast	Psistema [W] za elektronski balast	starost instalacije [god]	starost izvora [h]
300	0.56	0.27	0.75	0.98	150	102	125	81	13	4015
290	0.55	0.28	0.75	0.98	144	102	120	81	13	4015
280	0.55	0.29	0.75	0.98	137	101	114	81	13	4015
270	0.54	0.30	0.75	0.98	130	101	109	80	13	4015
260	0.53	0.31	0.75	0.98	124	101	103	80	13	4015
250	0.52	0.33	0.75	0.98	117	101	98	80	13	4015
240	0.52	0.34	0.75	0.98	111	101	92	80	13	4015
230	0.51	0.35	0.75	0.98	104	100	87	80	13	4015
220	0.50	0.37	0.75	0.98	98	100	82	80	13	4015
210	0.49	0.39	0.75	0.98	91	100	76	80	13	4015
200	0.47	0.41	0.75	0.98	85	100	71	79	13	4015
190	0.46	0.37	0.75	0.98	78	87	65	69	13	4015
180	0.45	0.33	0.75	0.98	72	74	60	59	13	4015
170	0	0.29	x	0.98	0	61	0	49	13	4015
160	0	0.24	x	0.98	0	48	0	38	13	4015
150	0	0	x	x	0	0	0	0	13	4015

Tabela 19: 14 godina, izvor SON-T 70W

U [V]	I[A] za elektromagnetski balast	I[A] za elektronski balast	Faktor snage PF za elektromagnetski balast	Faktor snage PF za elektronski balast	Psjalice [%] za elektromagnetski balast	Psjalice [%] za elektronski balast	Psistema [W] za elektromagnetski balast	Psistema [W] za elektronski balast	starost instalacije [god]	starost izvora [h]
300	0.59	0.28	0.73	0.98	155	102	129	81	14	8030
290	0.58	0.29	0.73	0.98	148	102	123	81	14	8030
280	0.57	0.29	0.73	0.98	142	102	118	81	14	8030
270	0.57	0.31	0.73	0.98	135	102	113	81	14	8030
260	0.56	0.32	0.73	0.98	128	102	107	81	14	8030
250	0.55	0.33	0.73	0.98	122	101	102	80	14	8030
240	0.55	0.34	0.73	0.98	115	101	96	80	14	8030
230	0.54	0.36	0.73	0.98	109	101	91	80	14	8030
220	0.53	0.37	0.73	0.98	102	101	85	80	14	8030
210	0.52	0.39	0.73	0.98	96	101	80	80	14	8030
200	0.51	0.41	0.73	0.98	89	100	74	80	14	8030
190	0.50	0.38	0.73	0.98	83	88	69	70	14	8030
180	0.48	0.34	0.73	0.98	76	75	64	59	14	8030
170	0	0.29	x	0.98	0	62	0	49	14	8030
160	0	0.25	x	0.98	0	49	0	39	14	8030
150	0	0	x	x	0	0	0	0	14	8030

Tabela 20: 15 godina, izvor SON-T 70W

U [V]	I[A] za elektromagnetski balast	I[A] za elektronski balast	Faktor snage PF za elektromagnetski balast	Faktor snage PF za elektronski balast	Psjalice [%] za elektromagnetski balast	Psjalice [%] za elektronski balast	Psistema [W] za elektromagnetski balast	Psistema [W] za elektronski balast	starost instalacije [god]	starost izvora [h]
300	0.61	0.28	0.72	0.98	159	103	133	82	15	12045
290	0.61	0.29	0.72	0.98	153	103	127	81	15	12045
280	0.60	0.30	0.72	0.98	146	102	122	81	15	12045
270	0.60	0.31	0.72	0.98	140	102	116	81	15	12045
260	0.59	0.32	0.72	0.98	133	102	111	81	15	12045
250	0.59	0.33	0.72	0.98	126	102	105	81	15	12045
240	0.58	0.34	0.72	0.98	120	102	100	81	15	12045
230	0.57	0.36	0.72	0.98	113	101	95	81	15	12045
220	0.56	0.37	0.72	0.98	107	101	89	80	15	12045
210	0.55	0.39	0.72	0.98	100	101	84	80	15	12045
200	0.54	0.41	0.72	0.98	94	101	78	80	15	12045
190	0.53	0.38	0.72	0.98	87	88	73	70	15	12045
180	0.52	0.34	0.72	0.98	81	75	67	60	15	12045
170	0	0.30	x	0.98	0	62	0	50	15	12045
160	0	0.25	x	0.98	0	49	0	39	15	12045
150	0	0	x	x	0	0	0	0	15	12045

Tabela 21: 16 godina, izvor SON-T 70W

U [V]	I[A] za elektromagnetski balast	I[A] za elektronski balast	Faktor snage PF za elektromagnetski balast	Faktor snage PF za elektronski balast	Psjalice [%] za elektromagnetski balast	Psjalice [%] za elektronski balast	Psistema [W] za elektromagnetski balast	Psistema [W] za elektronski balast	starost instalacije [god]	starost izvora [h]
300	0.64	0.28	0.71	0.98	164	103	136	82	16	16060
290	0.64	0.29	0.71	0.98	157	103	131	82	16	16060
280	0.63	0.30	0.71	0.98	151	103	125	82	16	16060
270	0.63	0.31	0.71	0.98	144	103	120	82	16	16060
260	0.62	0.32	0.71	0.98	138	103	115	81	16	16060
250	0.62	0.33	0.71	0.98	131	102	109	81	16	16060
240	0.61	0.35	0.71	0.98	124	102	104	81	16	16060
230	0.60	0.36	0.71	0.98	118	102	98	81	16	16060
220	0.60	0.38	0.71	0.98	111	102	93	81	16	16060
210	0.59	0.39	0.71	0.98	105	102	87	81	16	16060
200	0.58	0.41	0.71	0.98	98	101	82	81	16	16060
190	0.57	0.38	0.71	0.98	92	89	77	71	16	16060
180	0.56	0.34	0.71	0.98	85	76	71	60	16	16060
170	0	0.30	x	0.98	0	63	0	50	16	16060
160	0	0.25	x	0.98	0	50	0	40	16	16060
150	0	0	x	x	0	0	0	0	16	16060

Tabela22: 16 godina - zamena izvora, izvor SON-T 70W

U [V]	I[A] za elektromagnetski balast	I[A] za elektronski balast	Faktor snage PF za elektromagnetski balast	Faktor snage PF za elektronski balast	Psjalice [%] za elektromagnetski balast	Psjalice [%] za elektronski balast	Psistema [W] za elektromagnetski balast	Psistema [W] za elektronski balast	starost instalacije [god]	starost izvora [h]
300	0.57	0.27	0.71	0.98	146	101	121	80	16	100
290	0.57	0.28	0.71	0.98	139	101	116	80	16	100
280	0.56	0.29	0.71	0.98	133	101	111	80	16	100
270	0.55	0.30	0.71	0.98	126	101	105	80	16	100
260	0.54	0.31	0.71	0.98	120	101	100	80	16	100
250	0.53	0.33	0.71	0.98	113	100	94	80	16	100
240	0.52	0.34	0.71	0.98	107	100	89	80	16	100
230	0.51	0.35	0.71	0.98	100	100	83	79	16	100
220	0.50	0.37	0.71	0.98	93	100	78	79	16	100
210	0.49	0.38	0.71	0.98	87	100	72	79	16	100
200	0.47	0.40	0.71	0.98	80	99	67	79	16	100
190	0.46	0.37	0.71	0.98	74	87	62	69	16	100
180	0.44	0.33	0.71	0.98	67	74	56	59	16	100
170	0	0.29	x	0.98	0	61	0	48	16	100
160	0	0.24	x	0.98	0	48	0	38	16	100
150	0	0	x	x	0	0	0	0	16	100

Tabela 23: 17 godina, izvor SON-T 70W

U [V]	I[A] za elektromagnetski balast	I[A] za elektronski balast	Faktor snage PF za elektromagnetski balast	Faktor snage PF za elektronski balast	Psjalice [%] za elektromagnetski balast	Psjalice [%] za elektronski balast	Psistema [W] za elektromagnetski balast	Psistema [W] za elektronski balast	starost instalacije [god]	starost izvora [h]
300	0.60	0.27	0.69	0.98	150	102	125	81	17	4015
290	0.59	0.28	0.69	0.98	144	102	120	81	17	4015
280	0.59	0.29	0.69	0.98	137	101	114	81	17	4015
270	0.58	0.30	0.69	0.98	130	101	109	80	17	4015
260	0.57	0.31	0.69	0.98	124	101	103	80	17	4015
250	0.56	0.33	0.69	0.98	117	101	98	80	17	4015
240	0.56	0.34	0.69	0.98	111	101	92	80	17	4015
230	0.55	0.35	0.69	0.98	104	100	87	80	17	4015
220	0.53	0.37	0.69	0.98	98	100	82	80	17	4015
210	0.52	0.39	0.69	0.98	91	100	76	80	17	4015
200	0.51	0.41	0.69	0.98	85	100	71	79	17	4015
190	0.50	0.37	0.69	0.98	78	87	65	69	17	4015
180	0.48	0.33	0.69	0.98	72	74	60	59	17	4015
170	0	0.29	x	0.98	0	61	0	49	17	4015
160	0	0.24	x	0.98	0	48	0	38	17	4015
150	0	0	x	x	0	0	0	0	17	4015

Tabela 24: 18 godina, izvor SON-T 70W

U [V]	I[A] za elektromagnetski balast	I[A] za elektronski balast	Faktor snage PF za elektromagnetski balast	Faktor snage PF za elektronski balast	Psjalice [%] za elektromagnetski balast	Psjalice [%] za elektronski balast	Psistema [W] za elektromagnetski balast	Psistema [W] za elektronski balast	starost instalacije [god]	starost izvora [h]
300	0.63	0.28	0.68	0.98	155	102	129	81	18	8030
290	0.63	0.29	0.68	0.98	148	102	123	81	18	8030
280	0.62	0.29	0.68	0.98	142	102	118	81	18	8030
270	0.61	0.31	0.68	0.98	135	102	113	81	18	8030
260	0.61	0.32	0.68	0.98	128	102	107	81	18	8030
250	0.60	0.33	0.68	0.98	122	101	102	80	18	8030
240	0.59	0.34	0.68	0.98	115	101	96	80	18	8030
230	0.58	0.36	0.68	0.98	109	101	91	80	18	8030
220	0.57	0.37	0.68	0.98	102	101	85	80	18	8030
210	0.56	0.39	0.68	0.98	96	101	80	80	18	8030
200	0.55	0.41	0.68	0.98	89	100	74	80	18	8030
190	0.53	0.38	0.68	0.98	83	88	69	70	18	8030
180	0.52	0.34	0.68	0.98	76	75	64	59	18	8030
170	0	0.29	x	0.98	0	62	0	49	18	8030
160	0	0.25	x	0.98	0	49	0	39	18	8030
150	0	0	x	x	0	0	0	0	18	8030

Tabela 25: 19 godina, izvor SON-T 70W

U [V]	I[A] za elektromagnetski balast	I[A] za elektronski balast	Faktor snage PF za elektromagnetski balast	Faktor snage PF za elektronski balast	Psjalice [%] za elektromagnetski balast	Psjalice [%] za elektronski balast	Psistema [W] za elektromagnetski balast	Psistema [W] za elektronski balast	starost instalacije [god]	starost izvora [h]
300	0.66	0.28	0.67	0.98	159	103	133	82	19	12045
290	0.66	0.29	0.67	0.98	153	103	127	81	19	12045
280	0.65	0.30	0.67	0.98	146	102	122	81	19	12045
270	0.65	0.31	0.67	0.98	140	102	116	81	19	12045
260	0.64	0.32	0.67	0.98	133	102	111	81	19	12045
250	0.63	0.33	0.67	0.98	126	102	105	81	19	12045
240	0.62	0.34	0.67	0.98	120	102	100	81	19	12045
230	0.62	0.36	0.67	0.98	113	101	95	81	19	12045
220	0.61	0.37	0.67	0.98	107	101	89	80	19	12045
210	0.60	0.39	0.67	0.98	100	101	84	80	19	12045
200	0.59	0.41	0.67	0.98	94	101	78	80	19	12045
190	0.57	0.38	0.67	0.98	87	88	73	70	19	12045
180	0.56	0.34	0.67	0.98	81	75	67	60	19	12045
170	0	0.30	x	0.98	0	62	0	50	19	12045
160	0	0.25	x	0.98	0	49	0	39	19	12045
150	0	0	x	x	0	0	0	0	19	12045

Tabela 26: 20 godina, izvor SON-T 70W

U [V]	I[A] za elektromagnetski balast	I[A] za elektronski balast	Faktor snage PF za elektromagnetski balast	Faktor snage PF za elektronski balast	Pisijalice [%] za elektromagnetski balast	Pisijalice [%] za elektronski balast	Psistema [W] za elektromagnetski balast	Psistema [W] za elektronski balast	starost instalacije [god]	starost izvora [h]
300	0.65	0.28	0.65	0.98	164	103	136	82	20	16060
290	0.69	0.29	0.65	0.98	157	103	131	82	20	16060
280	0.69	0.30	0.65	0.98	151	103	125	82	20	16060
270	0.68	0.31	0.65	0.98	144	103	120	82	20	16060
260	0.67	0.32	0.65	0.98	138	103	115	81	20	16060
250	0.67	0.33	0.65	0.98	131	102	109	81	20	16060
240	0.66	0.35	0.65	0.98	124	102	104	81	20	16060
230	0.65	0.36	0.65	0.98	118	102	98	81	20	16060
220	0.65	0.38	0.65	0.98	111	102	93	81	20	16060
210	0.64	0.39	0.65	0.98	105	102	87	81	20	16060
200	0.63	0.41	0.65	0.98	98	101	82	81	20	16060
190	0.62	0.38	0.65	0.98	92	89	77	71	20	16060
180	0.60	0.34	0.65	0.98	85	76	71	60	20	16060
170	0	0.30	x	0.98	0	63	0	50	20	16060
160	0	0.25	x	0.98	0	50	0	40	20	16060
150	0	0	x	x	0	0	0	0	20	16060

Posmatrajući samo natrijumove izvore snage 70W (tabele 2-26), daljom analizom mogu se izvesti sledeći zaključci:

- Na kraju životnog veka svetiljke (20 godina) njena snaga je 18% veća od inicijalne u slučaju elektromagnetskog i 2.5% veća u slučaju elektronskog balasta. Ako se uzme srednja vrednost za period od 20 godina (EM balast - 92.3W, EL balast - 80.4W), dobija se da je korišćenjem elektronskog balasta moguće ostvariti uštede u potrošnji električne energije od približno 13%!
- Sa starenjem instalacije faktor snage u slučaju elektromagnetskih balasta opada sa 0.92 na 0.65, dok je u slučaju elektronskih balasta on praktično nepromenjen tokom perioda od 20 godina i iznosi 0.98. Ako se uzme srednja vrednost za period od 20 godina (EM balast – 73.05VAr, EL balast – 16.32VAr), ukupna potrošnja reaktivne električne energije biće približno 77.66% manja u slučaju svetiljke sa elektronskim balastom!

Tabela 27: nova instalacija, izvor SON-T 100W

U [V]	I[A] za elektromagnetski balast	I[A] za elektronski balast	Faktor snage PF za elektromagnetski balast	Faktor snage PF za elektronski balast	Psijalica [%] za elektromagnetski balast	Psijalica [%] za elektronski balast	Psistema [W] za elektromagnetski balast	Psistema [W] za elektronski balast	starost instalacije [god]	starost izvora [h]
300	0.62	0.39	0.92	0.98	146	101	172	114	0	100
290	0.62	0.40	0.92	0.98	139	101	165	114	0	100
280	0.61	0.41	0.92	0.98	133	101	157	113	0	100
270	0.60	0.43	0.92	0.98	126	101	149	113	0	100
260	0.59	0.44	0.92	0.98	120	101	141	113	0	100
250	0.58	0.46	0.92	0.98	113	100	134	113	0	100
240	0.57	0.48	0.92	0.98	107	100	126	113	0	100
230	0.56	0.50	0.92	0.98	100	100	118	112	0	100
220	0.55	0.52	0.92	0.98	93	100	111	112	0	100
210	0.53	0.54	0.92	0.98	87	100	103	112	0	100
200	0.52	0.57	0.92	0.98	80	99	95	112	0	100
190	0.50	0.52	0.92	0.98	74	87	87	98	0	100
180	0.48	0.47	0.92	0.98	67	74	80	83	0	100
170	0	0.41	x	0.98	0	61	0	68	0	100
160	0	0.34	x	0.98	0	48	0	54	0	100
150	0	0	x	x	0	0	0	0	0	100

Tabela 28: 1 godina, izvor SON-T 100W

U [V]	I[A] za elektromagnetski balast	I[A] za elektronski balast	Faktor snage PF za elektromagnetski balast	Faktor snage PF za elektronski balast	Psijalica [%] za elektromagnetski balast	Psijalica [%] za elektronski balast	Psistema [W] za elektromagnetski balast	Psistema [W] za elektronski balast	starost instalacije [god]	starost izvora [h]
300	0.65	0.39	0.91	0.98	150	102	178	114	1	4015
290	0.65	0.40	0.91	0.98	144	102	170	114	1	4015
280	0.64	0.42	0.91	0.98	137	101	162	114	1	4015
270	0.63	0.43	0.91	0.98	130	101	154	114	1	4015
260	0.62	0.45	0.91	0.98	124	101	147	114	1	4015
250	0.61	0.46	0.91	0.98	117	101	139	113	1	4015
240	0.60	0.48	0.91	0.98	111	101	131	113	1	4015
230	0.59	0.50	0.91	0.98	104	100	124	113	1	4015
220	0.58	0.52	0.91	0.98	98	100	116	113	1	4015
210	0.57	0.55	0.91	0.98	91	100	108	113	1	4015
200	0.55	0.57	0.91	0.98	85	100	100	112	1	4015
190	0.54	0.53	0.91	0.98	78	87	93	98	1	4015
180	0.52	0.47	0.91	0.98	72	74	85	84	1	4015
170	0	0.41	x	0.98	0	61	0	69	1	4015
160	0	0.35	x	0.98	0	48	0	54	1	4015
150	0	0	x	x	0	0	0	0	1	4015

Tabela 29: 2 godine, izvor SON-T 100W

U [V]	I[A] za elektromagnetski balast	I[A] za elektronski balast	Faktor snage PF za elektromagnetski balast	Faktor snage PF za elektronski balast	Psijalica [%] za elektromagnetski balast	Psijalica [%] za elektronski balast	Psistema [W] za elektromagnetski balast	Psistema [W] za elektronski balast	starost instalacije [god]	starost izvora [h]
300	0.68	0.39	0.89	0.98	155	102	183	115	2	8030
290	0.68	0.40	0.89	0.98	148	102	175	115	2	8030
280	0.67	0.42	0.89	0.98	142	102	167	114	2	8030
270	0.66	0.43	0.89	0.98	135	102	160	114	2	8030
260	0.65	0.45	0.89	0.98	128	102	152	114	2	8030
250	0.65	0.46	0.89	0.98	122	101	144	114	2	8030
240	0.64	0.48	0.89	0.98	115	101	137	114	2	8030
230	0.63	0.50	0.89	0.98	109	101	129	114	2	8030
220	0.62	0.53	0.89	0.98	102	101	121	113	2	8030
210	0.60	0.55	0.89	0.98	96	101	113	113	2	8030
200	0.59	0.58	0.89	0.98	89	100	106	113	2	8030
190	0.58	0.53	0.89	0.98	83	88	98	99	2	8030
180	0.56	0.48	0.89	0.98	76	75	90	84	2	8030
170	0	0.42	x	0.98	0	62	0	70	2	8030
160	0	0.35	x	0.98	0	49	0	55	2	8030
150	0	0	x	x	0	0	0	0	2	8030

Tabela 30: 3 godine, izvor SON-T 100W

U [V]	I[A] za elektromagnetski balast	I[A] za elektronski balast	Faktor snage PF za elektromagnetski balast	Faktor snage PF za elektronski balast	Psijalica [%] za elektromagnetski balast	Psijalica [%] za elektronski balast	Psistema [W] za elektromagnetski balast	Psistema [W] za elektronski balast	starost instalacije [god]	starost izvora [h]
300	0.71	0.39	0.88	0.98	159	103	188	115	3	12045
290	0.71	0.41	0.88	0.98	153	103	181	115	3	12045
280	0.70	0.42	0.88	0.98	146	102	173	115	3	12045
270	0.69	0.43	0.88	0.98	140	102	165	115	3	12045
260	0.69	0.45	0.88	0.98	133	102	157	115	3	12045
250	0.68	0.47	0.88	0.98	126	102	150	114	3	12045
240	0.67	0.49	0.88	0.98	120	102	142	114	3	12045
230	0.66	0.51	0.88	0.98	113	101	134	114	3	12045
220	0.65	0.53	0.88	0.98	107	101	127	114	3	12045
210	0.64	0.55	0.88	0.98	100	101	119	114	3	12045
200	0.63	0.58	0.88	0.98	94	101	111	113	3	12045
190	0.62	0.53	0.88	0.98	87	88	103	99	3	12045
180	0.60	0.48	0.88	0.98	81	75	96	85	3	12045
170	0	0.42	x	0.98	0	62	0	70	3	12045
160	0	0.35	x	0.98	0	49	0	55	3	12045
150	0	0	x	x	0	0	0	0	3	12045

Tabela 31: 4 godine, izvor SON-T 100W

U [V]	I[A] za elektromagnetski balast	I[A] za elektronski balast	Faktor snage PF za elektromagnetski balast	Faktor snage PF za elektronski balast	Psijalice [%] za elektromagnetski balast	Psijalice [%] za elektronski balast	Psistema [W] za elektromagnetski balast	Psistema [W] za elektronski balast	starost instalacije [god]	starost izvora [h]
300	0.74	0.39	0.87	0.98	164	103	194	116	4	16060
290	0.74	0.41	0.87	0.98	157	103	186	116	4	16060
280	0.73	0.42	0.87	0.98	151	103	178	116	4	16060
270	0.73	0.44	0.87	0.98	144	103	170	115	4	16060
260	0.72	0.45	0.87	0.98	138	103	163	115	4	16060
250	0.72	0.47	0.87	0.98	131	102	155	115	4	16060
240	0.71	0.49	0.87	0.98	124	102	147	115	4	16060
230	0.70	0.51	0.87	0.98	118	102	140	115	4	16060
220	0.69	0.53	0.87	0.98	111	102	132	114	4	16060
210	0.68	0.56	0.87	0.98	105	102	124	114	4	16060
200	0.67	0.58	0.87	0.98	98	101	116	114	4	16060
190	0.66	0.54	0.87	0.98	92	89	109	100	4	16060
180	0.65	0.48	0.87	0.98	85	76	101	85	4	16060
170	0	0.42	x	0.98	0	63	0	71	4	16060
160	0	0.36	x	0.98	0	50	0	56	4	16060
150	0	0	x	x	0	0	0	0	4	16060

Tabela 32: 4 godine - zamena izvora, izvor SON-T 100W

U [V]	I[A] za elektromagnetski balast	I[A] za elektronski balast	Faktor snage PF za elektromagnetski balast	Faktor snage PF za elektronski balast	Psijalice [%] za elektromagnetski balast	Psijalice [%] za elektronski balast	Psistema [W] za elektromagnetski balast	Psistema [W] za elektronski balast	starost instalacije [god]	starost izvora [h]
300	0.66	0.39	0.87	0.98	146	101	172	114	4	100
290	0.66	0.40	0.87	0.98	139	101	165	114	4	100
280	0.65	0.41	0.87	0.98	133	101	157	113	4	100
270	0.64	0.43	0.87	0.98	126	101	149	113	4	100
260	0.63	0.44	0.87	0.98	120	101	141	113	4	100
250	0.62	0.46	0.87	0.98	113	100	134	113	4	100
240	0.61	0.48	0.87	0.98	107	100	126	113	4	100
230	0.59	0.50	0.87	0.98	100	100	118	112	4	100
220	0.58	0.52	0.87	0.98	93	100	111	112	4	100
210	0.57	0.54	0.87	0.98	87	100	103	112	4	100
200	0.55	0.57	0.87	0.98	80	99	95	112	4	100
190	0.53	0.52	0.87	0.98	74	87	87	98	4	100
180	0.51	0.47	0.87	0.98	67	74	80	83	4	100
170	0	0.41	x	0.98	0	61	0	68	4	100
160	0	0.34	x	0.98	0	48	0	54	4	100
150	0	0	x	x	0	0	0	0	4	100

Tabela 33: 5 godina, izvor SON-T 100W

U [V]	I[A] za elektromagnetski balast	I[A] za elektronski balast	Faktor snage PF za elektromagnetski balast	Faktor snage PF za elektronski balast	Psijalice [%] za elektromagnetski balast	Psijalice [%] za elektronski balast	Psistema [W] za elektromagnetski balast	Psistema [W] za elektronski balast	starost instalacije [god]	starost izvora [h]
300	0.69	0.39	0.85	0.98	150	102	178	114	5	4015
290	0.69	0.40	0.85	0.98	144	102	170	114	5	4015
280	0.68	0.42	0.85	0.98	137	101	162	114	5	4015
270	0.67	0.43	0.85	0.98	130	101	154	114	5	4015
260	0.66	0.45	0.85	0.98	124	101	147	114	5	4015
250	0.65	0.46	0.85	0.98	117	101	139	113	5	4015
240	0.64	0.48	0.85	0.98	111	101	131	113	5	4015
230	0.63	0.50	0.85	0.98	104	100	124	113	5	4015
220	0.62	0.52	0.85	0.98	98	100	116	113	5	4015
210	0.60	0.55	0.85	0.98	91	100	108	113	5	4015
200	0.59	0.57	0.85	0.98	85	100	100	112	5	4015
190	0.57	0.53	0.85	0.98	78	87	93	98	5	4015
180	0.55	0.47	0.85	0.98	72	74	85	84	5	4015
170	0	0.41	x	0.98	0	61	0	69	5	4015
160	0	0.35	x	0.98	0	48	0	54	5	4015
150	0	0	x	x	0	0	0	0	5	4015

Tabela 34: 6 godina, izvor SON-T 100W

U [V]	I[A] za elektromagnetski balast	I[A] za elektronski balast	Faktor snage PF za elektromagnetski balast	Faktor snage PF za elektronski balast	Psijalice [%] za elektromagnetski balast	Psijalice [%] za elektronski balast	Psistema [W] za elektromagnetski balast	Psistema [W] za elektronski balast	starost instalacije [god]	starost izvora [h]
300	0.73	0.39	0.84	0.98	155	102	183	115	6	8030
290	0.72	0.40	0.84	0.98	148	102	175	115	6	8030
280	0.71	0.42	0.84	0.98	142	102	167	114	6	8030
270	0.70	0.43	0.84	0.98	135	102	160	114	6	8030
260	0.70	0.45	0.84	0.98	128	102	152	114	6	8030
250	0.69	0.46	0.84	0.98	122	101	144	114	6	8030
240	0.68	0.48	0.84	0.98	115	101	137	114	6	8030
230	0.67	0.50	0.84	0.98	109	101	129	114	6	8030
220	0.66	0.53	0.84	0.98	102	101	121	113	6	8030
210	0.64	0.55	0.84	0.98	96	101	113	113	6	8030
200	0.63	0.58	0.84	0.98	89	100	106	113	6	8030
190	0.61	0.53	0.84	0.98	83	88	98	99	6	8030
180	0.60	0.48	0.84	0.98	76	75	90	84	6	8030
170	0	0.42	x	0.98	0	62	0	70	6	8030
160	0	0.35	x	0.98	0	49	0	55	6	8030
150	0	0	x	x	0	0	0	0	6	8030

Tabela 35: 7 godina, izvor SON-T 100W

U [V]	I[A] za elektromagnetski balast	I[A] za elektronski balast	Faktor snage PF za elektromagnetski balast	Faktor snage PF za elektronski balast	Psjalice [%] za elektromagnetski balast	Psjalice [%] za elektronski balast	Psistema [W] za elektromagnetski balast	Psistema [W] za elektronski balast	starost instalacije [god]	starost izvora [h]
300	0.76	0.39	0.83	0.98	159	103	188	115	7	12045
290	0.75	0.41	0.83	0.98	153	103	181	115	7	12045
280	0.75	0.42	0.83	0.98	146	102	173	115	7	12045
270	0.74	0.43	0.83	0.98	140	102	165	115	7	12045
260	0.73	0.45	0.83	0.98	133	102	157	115	7	12045
250	0.72	0.47	0.83	0.98	126	102	150	114	7	12045
240	0.72	0.49	0.83	0.98	120	102	142	114	7	12045
230	0.71	0.51	0.83	0.98	113	101	134	114	7	12045
220	0.70	0.53	0.83	0.98	107	101	127	114	7	12045
210	0.68	0.55	0.83	0.98	100	101	119	114	7	12045
200	0.67	0.58	0.83	0.98	94	101	111	113	7	12045
190	0.66	0.53	0.83	0.98	87	88	103	99	7	12045
180	0.64	0.48	0.83	0.98	81	75	96	85	7	12045
170	0	0.42	x	0.98	0	62	0	70	7	12045
160	0	0.35	x	0.98	0	49	0	55	7	12045
150	0	0	x	x	0	0	0	0	7	12045

Tabela 36: 8 godina, izvor SON-T 100W

U [V]	I[A] za elektromagnetski balast	I[A] za elektronski balast	Faktor snage PF za elektromagnetski balast	Faktor snage PF za elektronski balast	Psjalice [%] za elektromagnetski balast	Psjalice [%] za elektronski balast	Psistema [W] za elektromagnetski balast	Psistema [W] za elektronski balast	starost instalacije [god]	starost izvora [h]
300	0.79	0.39	0.81	0.98	164	103	194	116	8	16060
290	0.79	0.41	0.81	0.98	157	103	186	116	8	16060
280	0.78	0.42	0.81	0.98	151	103	178	116	8	16060
270	0.78	0.44	0.81	0.98	144	103	170	115	8	16060
260	0.77	0.45	0.81	0.98	138	103	163	115	8	16060
250	0.76	0.47	0.81	0.98	131	102	155	115	8	16060
240	0.75	0.49	0.81	0.98	124	102	147	115	8	16060
230	0.75	0.51	0.81	0.98	118	102	140	115	8	16060
220	0.74	0.53	0.81	0.98	111	102	132	114	8	16060
210	0.73	0.56	0.81	0.98	105	102	124	114	8	16060
200	0.72	0.58	0.81	0.98	98	101	116	114	8	16060
190	0.70	0.54	0.81	0.98	92	89	109	100	8	16060
180	0.69	0.48	0.81	0.98	85	76	101	85	8	16060
170	0	0.42	x	0.98	0	63	0	71	8	16060
160	0	0.36	x	0.98	0	50	0	56	8	16060
150	0	0	x	x	0	0	0	0	8	16060

Tabela 37: 8 godina - zamena izvora, izvor SON-T 100W

U [V]	I[A] za elektromagnetski balast	I[A] za elektronski balast	Faktor snage PF za elektromagnetski balast	Faktor snage PF za elektronski balast	Psjalice [%] za elektromagnetski balast	Psjalice [%] za elektronski balast	Psistema [W] za elektromagnetski balast	Psistema [W] za elektronski balast	starost instalacije [god]	starost izvora [h]
300	0.71	0.39	0.81	0.98	146	101	172	114	8	100
290	0.70	0.40	0.81	0.98	139	101	165	114	8	100
280	0.69	0.41	0.81	0.98	133	101	157	113	8	100
270	0.68	0.43	0.81	0.98	126	101	149	113	8	100
260	0.67	0.44	0.81	0.98	120	101	141	113	8	100
250	0.66	0.46	0.81	0.98	113	100	134	113	8	100
240	0.65	0.48	0.81	0.98	107	100	126	113	8	100
230	0.63	0.50	0.81	0.98	100	100	118	112	8	100
220	0.62	0.52	0.81	0.98	93	100	111	112	8	100
210	0.60	0.54	0.81	0.98	87	100	103	112	8	100
200	0.59	0.57	0.81	0.98	80	99	95	112	8	100
190	0.57	0.52	0.81	0.98	74	87	87	98	8	100
180	0.54	0.47	0.81	0.98	67	74	80	83	8	100
170	0	0.41	x	0.98	0	61	0	68	8	100
160	0	0.34	x	0.98	0	48	0	54	8	100
150	0	0	x	x	0	0	0	0	8	100

Tabela 38: 9 godina, izvor SON-T 100W

U [V]	I[A] za elektromagnetski balast	I[A] za elektronski balast	Faktor snage PF za elektromagnetski balast	Faktor snage PF za elektronski balast	Psjalice [%] za elektromagnetski balast	Psjalice [%] za elektronski balast	Psistema [W] za elektromagnetski balast	Psistema [W] za elektronski balast	starost instalacije [god]	starost izvora [h]
300	0.74	0.39	0.80	0.98	150	102	178	114	9	4015
290	0.73	0.40	0.80	0.98	144	102	170	114	9	4015
280	0.72	0.42	0.80	0.98	137	101	162	114	9	4015
270	0.71	0.43	0.80	0.98	130	101	154	114	9	4015
260	0.71	0.45	0.80	0.98	124	101	147	114	9	4015
250	0.69	0.46	0.80	0.98	117	101	139	113	9	4015
240	0.68	0.48	0.80	0.98	111	101	131	113	9	4015
230	0.67	0.50	0.80	0.98	104	100	124	113	9	4015
220	0.66	0.52	0.80	0.98	98	100	116	113	9	4015
210	0.64	0.55	0.80	0.98	91	100	108	113	9	4015
200	0.63	0.57	0.80	0.98	85	100	100	112	9	4015
190	0.61	0.53	0.80	0.98	78	87	93	98	9	4015
180	0.59	0.47	0.80	0.98	72	74	85	84	9	4015
170	0	0.41	x	0.98	0	61	0	69	9	4015
160	0	0.35	x	0.98	0	48	0	54	9	4015
150	0	0	x	x	0	0	0	0	9	4015

Tabela 39: 10 godina, izvor SON-T 100W

ZAMENA ELEKTRONSKOG BALASTA I KONDENZATORA

U [V]	I[A] za elektromagnetski balast	I[A] za elektronski balast	Faktor snage PF za elektromagnetski balast	Faktor snage PF za elektronski balast	Psijalica [%] za elektromagnetski balast	Psijalica [%] za elektronski balast	Psistema [W] za elektromagnetski balast	Psistema [W] za elektronski balast	starost instalacije [god]	starost izvora [h]
300	0.78	0.39	0.79	0.98	155	102	183	115	10	8030
290	0.77	0.40	0.79	0.98	148	102	175	115	10	8030
280	0.76	0.42	0.79	0.98	142	102	167	114	10	8030
270	0.75	0.43	0.79	0.98	135	102	160	114	10	8030
260	0.74	0.45	0.79	0.98	128	102	152	114	10	8030
250	0.73	0.46	0.79	0.98	122	101	144	114	10	8030
240	0.72	0.48	0.79	0.98	115	101	137	114	10	8030
230	0.71	0.50	0.79	0.98	109	101	129	114	10	8030
220	0.70	0.53	0.79	0.98	102	101	121	113	10	8030
210	0.69	0.55	0.79	0.98	96	101	113	113	10	8030
200	0.67	0.58	0.79	0.98	89	100	106	113	10	8030
190	0.66	0.53	0.79	0.98	83	88	98	99	10	8030
180	0.64	0.48	0.79	0.98	76	75	90	84	10	8030
170	0	0.42	x	0.98	0	62	0	70	10	8030
160	0	0.35	x	0.98	0	49	0	55	10	8030
150	0	0	x	x	0	0	0	0	10	8030

Tabela 40: 11 godina, izvor SON-T 100W

U [V]	I[A] za elektromagnetski balast	I[A] za elektronski balast	Faktor snage PF za elektromagnetski balast	Faktor snage PF za elektronski balast	Psijalica [%] za elektromagnetski balast	Psijalica [%] za elektronski balast	Psistema [W] za elektromagnetski balast	Psistema [W] za elektronski balast	starost instalacije [god]	starost izvora [h]
300	0.81	0.39	0.77	0.98	159	103	188	115	11	12045
290	0.81	0.41	0.77	0.98	153	103	181	115	11	12045
280	0.80	0.42	0.77	0.98	146	102	173	115	11	12045
270	0.79	0.43	0.77	0.98	140	102	165	115	11	12045
260	0.78	0.45	0.77	0.98	133	102	157	115	11	12045
250	0.77	0.47	0.77	0.98	126	102	150	114	11	12045
240	0.76	0.49	0.77	0.98	120	102	142	114	11	12045
230	0.75	0.51	0.77	0.98	113	101	134	114	11	12045
220	0.74	0.53	0.77	0.98	107	101	127	114	11	12045
210	0.73	0.55	0.77	0.98	100	101	119	114	11	12045
200	0.72	0.58	0.77	0.98	94	101	111	113	11	12045
190	0.70	0.53	0.77	0.98	87	88	103	99	11	12045
180	0.69	0.48	0.77	0.98	81	75	96	85	11	12045
170	0	0.42	x	0.98	0	62	0	70	11	12045
160	0	0.35	x	0.98	0	49	0	55	11	12045
150	0	0	x	x	0	0	0	0	11	12045

Tabela 41: 12 godina, izvor SON-T 100W

U [V]	I[A] za elektromagnetski balast	I[A] za elektronski balast	Faktor snage PF za elektromagnetski balast	Faktor snage PF za elektronski balast	Psijalica [%] za elektromagnetski balast	Psijalica [%] za elektronski balast	Psistema [W] za elektromagnetski balast	Psistema [W] za elektronski balast	starost instalacije [god]	starost izvora [h]
300	0.85	0.39	0.76	0.98	164	103	194	116	12	16060
290	0.84	0.41	0.76	0.98	157	103	186	116	12	16060
280	0.84	0.42	0.76	0.98	151	103	178	116	12	16060
270	0.83	0.44	0.76	0.98	144	103	170	115	12	16060
260	0.82	0.45	0.76	0.98	138	103	163	115	12	16060
250	0.82	0.47	0.76	0.98	131	102	155	115	12	16060
240	0.81	0.49	0.76	0.98	124	102	147	115	12	16060
230	0.80	0.51	0.76	0.98	118	102	140	115	12	16060
220	0.79	0.53	0.76	0.98	111	102	132	114	12	16060
210	0.78	0.56	0.76	0.98	105	102	124	114	12	16060
200	0.77	0.58	0.76	0.98	98	101	116	114	12	16060
190	0.75	0.54	0.76	0.98	92	89	109	100	12	16060
180	0.74	0.48	0.76	0.98	85	76	101	85	12	16060
170	0	0.42	x	0.98	0	63	0	71	12	16060
160	0	0.36	x	0.98	0	50	0	56	12	16060
150	0	0	x	x	0	0	0	0	12	16060

Tabela 42: 12 godina - zamena izvora, izvor SON-T 100W

U [V]	I[A] za elektromagnetski balast	I[A] za elektronski balast	Faktor snage PF za elektromagnetski balast	Faktor snage PF za elektronski balast	Psijalica [%] za elektromagnetski balast	Psijalica [%] za elektronski balast	Psistema [W] za elektromagnetski balast	Psistema [W] za elektronski balast	starost instalacije [god]	starost izvora [h]
300	0.76	0.39	0.76	0.98	146	101	172	114	12	100
290	0.75	0.40	0.76	0.98	139	101	165	114	12	100
280	0.74	0.41	0.76	0.98	133	101	157	113	12	100
270	0.73	0.43	0.76	0.98	126	101	149	113	12	100
260	0.72	0.44	0.76	0.98	120	101	141	113	12	100
250	0.70	0.46	0.76	0.98	113	100	134	113	12	100
240	0.69	0.48	0.76	0.98	107	100	126	113	12	100
230	0.68	0.50	0.76	0.98	100	100	118	112	12	100
220	0.66	0.52	0.76	0.98	93	100	111	112	12	100
210	0.64	0.54	0.76	0.98	87	100	103	112	12	100
200	0.63	0.57	0.76	0.98	80	99	95	112	12	100
190	0.61	0.52	0.76	0.98	74	87	87	98	12	100
180	0.58	0.47	0.76	0.98	67	74	80	83	12	100
170	0	0.41	x	0.98	0	61	0	68	12	100
160	0	0.34	x	0.98	0	48	0	54	12	100
150	0	0	x	x	0	0	0	0	12	100

Tabela 43: 13 godina, izvor SON-T 100W

U [V]	I[A] za elektromagnetski balast	I[A] za elektronski balast	Faktor snage PF za elektromagnetski balast	Faktor snage PF za elektronski balast	Psijalica [%] za elektromagnetski balast	Psijalica [%] za elektronski balast	Psistema [W] za elektromagnetski balast	Psistema [W] za elektronski balast	starost instalacije [god]	starost izvora [h]
300	0.79	0.39	0.75	0.98	150	102	178	114	13	4015
290	0.78	0.40	0.75	0.98	144	102	170	114	13	4015
280	0.78	0.42	0.75	0.98	137	101	162	114	13	4015
270	0.77	0.43	0.75	0.98	130	101	154	114	13	4015
260	0.76	0.45	0.75	0.98	124	101	147	114	13	4015
250	0.74	0.46	0.75	0.98	117	101	139	113	13	4015
240	0.73	0.48	0.75	0.98	111	101	131	113	13	4015
230	0.72	0.50	0.75	0.98	104	100	124	113	13	4015
220	0.71	0.52	0.75	0.98	98	100	116	113	13	4015
210	0.69	0.55	0.75	0.98	91	100	108	113	13	4015
200	0.67	0.57	0.75	0.98	85	100	100	112	13	4015
190	0.65	0.53	0.75	0.98	78	87	93	98	13	4015
180	0.63	0.47	0.75	0.98	72	74	85	84	13	4015
170	0	0.41	x	0.98	0	61	0	69	13	4015
160	0	0.35	x	0.98	0	48	0	54	13	4015
150	0	0	x	x	0	0	0	0	13	4015

Tabela 44: 14 godina, izvor SON-T 100W

U [V]	I[A] za elektromagnetski balast	I[A] za elektronski balast	Faktor snage PF za elektromagnetski balast	Faktor snage PF za elektronski balast	Psijalica [%] za elektromagnetski balast	Psijalica [%] za elektronski balast	Psistema [W] za elektromagnetski balast	Psistema [W] za elektronski balast	starost instalacije [god]	starost izvora [h]
300	0.83	0.39	0.73	0.98	155	102	183	115	14	8030
290	0.82	0.40	0.73	0.98	148	102	175	115	14	8030
280	0.82	0.42	0.73	0.98	142	102	167	114	14	8030
270	0.81	0.43	0.73	0.98	135	102	160	114	14	8030
260	0.80	0.45	0.73	0.98	128	102	152	114	14	8030
250	0.79	0.46	0.73	0.98	122	101	144	114	14	8030
240	0.78	0.48	0.73	0.98	115	101	137	114	14	8030
230	0.76	0.50	0.73	0.98	109	101	129	114	14	8030
220	0.75	0.53	0.73	0.98	102	101	121	113	14	8030
210	0.74	0.55	0.73	0.98	96	101	113	113	14	8030
200	0.72	0.58	0.73	0.98	89	100	106	113	14	8030
190	0.70	0.53	0.73	0.98	83	88	98	99	14	8030
180	0.68	0.48	0.73	0.98	76	75	90	84	14	8030
170	0	0.42	x	0.98	0	62	0	70	14	8030
160	0	0.35	x	0.98	0	49	0	55	14	8030
150	0	0	x	x	0	0	0	0	14	8030

Tabela 45: 15 godina, izvor SON-T 100W

U [V]	I[A] za elektromagnetski balast	I[A] za elektronski balast	Faktor snage PF za elektromagnetski balast	Faktor snage PF za elektronski balast	Psijalica [%] za elektromagnetski balast	Psijalica [%] za elektronski balast	Psistema [W] za elektromagnetski balast	Psistema [W] za elektronski balast	starost instalacije [god]	starost izvora [h]
300	0.87	0.39	0.72	0.98	159	103	188	115	15	12045
290	0.86	0.41	0.72	0.98	153	103	181	115	15	12045
280	0.86	0.42	0.72	0.98	146	102	173	115	15	12045
270	0.85	0.43	0.72	0.98	140	102	165	115	15	12045
260	0.84	0.45	0.72	0.98	133	102	157	115	15	12045
250	0.83	0.47	0.72	0.98	126	102	150	114	15	12045
240	0.82	0.49	0.72	0.98	120	102	142	114	15	12045
230	0.81	0.51	0.72	0.98	113	101	134	114	15	12045
220	0.80	0.53	0.72	0.98	107	101	127	114	15	12045
210	0.79	0.55	0.72	0.98	100	101	119	114	15	12045
200	0.77	0.58	0.72	0.98	94	101	111	113	15	12045
190	0.76	0.53	0.72	0.98	87	88	103	99	15	12045
180	0.74	0.48	0.72	0.98	81	75	96	85	15	12045
170	0	0.42	x	0.98	0	62	0	70	15	12045
160	0	0.35	x	0.98	0	49	0	55	15	12045
150	0	0	x	x	0	0	0	0	15	12045

Tabela 46: 16 godina, izvor SON-T 100W

U [V]	I[A] za elektromagnetski balast	I[A] za elektronski balast	Faktor snage PF za elektromagnetski balast	Faktor snage PF za elektronski balast	Psijalica [%] za elektromagnetski balast	Psijalica [%] za elektronski balast	Psistema [W] za elektromagnetski balast	Psistema [W] za elektronski balast	starost instalacije [god]	starost izvora [h]
300	0.91	0.39	0.71	0.98	164	103	194	116	16	16060
290	0.91	0.41	0.71	0.98	157	103	186	116	16	16060
280	0.90	0.42	0.71	0.98	151	103	178	116	16	16060
270	0.89	0.44	0.71	0.98	144	103	170	115	16	16060
260	0.89	0.45	0.71	0.98	138	103	163	115	16	16060
250	0.88	0.47	0.71	0.98	131	102	155	115	16	16060
240	0.87	0.49	0.71	0.98	124	102	147	115	16	16060
230	0.86	0.51	0.71	0.98	118	102	140	115	16	16060
220	0.85	0.53	0.71	0.98	111	102	132	114	16	16060
210	0.84	0.56	0.71	0.98	105	102	124	114	16	16060
200	0.82	0.58	0.71	0.98	98	101	116	114	16	16060
190	0.81	0.54	0.71	0.98	92	89	109	100	16	16060
180	0.79	0.48	0.71	0.98	85	76	101	85	16	16060
170	0	0.42	x	0.98	0	63	0	71	16	16060
160	0	0.36	x	0.98	0	50	0	56	16	16060
150	0	0	x	x	0	0	0	0	16	16060

Tabela 47: 16 godina - zamena izvora, izvor SON-T 100W

U [V]	I[A] za elektromagnetski balast	I[A] za elektronski balast	Faktor snage PF za elektromagnetski balast	Faktor snage PF za elektronski balast	Psijalica [%] za elektromagnetski balast	Psijalica [%] za elektronski balast	Psistema [W] za elektromagnetski balast	Psistema [W] za elektronski balast	starost instalacije [god]	starost izvora [h]
300	0.81	0.39	0.71	0.98	146	101	172	114	16	100
290	0.80	0.40	0.71	0.98	139	101	165	114	16	100
280	0.79	0.41	0.71	0.98	133	101	157	113	16	100
270	0.78	0.43	0.71	0.98	126	101	149	113	16	100
260	0.77	0.44	0.71	0.98	120	101	141	113	16	100
250	0.76	0.46	0.71	0.98	113	100	134	113	16	100
240	0.74	0.48	0.71	0.98	107	100	126	113	16	100
230	0.73	0.50	0.71	0.98	100	100	118	112	16	100
220	0.71	0.52	0.71	0.98	93	100	111	112	16	100
210	0.69	0.54	0.71	0.98	87	100	103	112	16	100
200	0.67	0.57	0.71	0.98	80	99	95	112	16	100
190	0.65	0.52	0.71	0.98	74	87	87	98	16	100
180	0.63	0.47	0.71	0.98	67	74	80	83	16	100
170	0	0.41	x	0.98	0	61	0	68	16	100
160	0	0.34	x	0.98	0	48	0	54	16	100
150	0	0	x	x	0	0	0	0	16	100

Tabela 48: 17 godina, izvor SON-T 100W

U [V]	I[A] za elektromagnetski balast	I[A] za elektronski balast	Faktor snage PF za elektromagnetski balast	Faktor snage PF za elektronski balast	Psijalica [%] za elektromagnetski balast	Psijalica [%] za elektronski balast	Psistema [W] za elektromagnetski balast	Psistema [W] za elektronski balast	starost instalacije [god]	starost izvora [h]
300	0.85	0.39	0.69	0.98	150	102	178	114	17	4015
290	0.84	0.40	0.69	0.98	144	102	170	114	17	4015
280	0.84	0.42	0.69	0.98	137	101	162	114	17	4015
270	0.82	0.43	0.69	0.98	130	101	154	114	17	4015
260	0.81	0.45	0.69	0.98	124	101	147	114	17	4015
250	0.80	0.46	0.69	0.98	117	101	139	113	17	4015
240	0.79	0.48	0.69	0.98	111	101	131	113	17	4015
230	0.77	0.50	0.69	0.98	104	100	124	113	17	4015
220	0.76	0.52	0.69	0.98	98	100	116	113	17	4015
210	0.74	0.55	0.69	0.98	91	100	108	113	17	4015
200	0.72	0.57	0.69	0.98	85	100	100	112	17	4015
190	0.70	0.53	0.69	0.98	78	87	93	98	17	4015
180	0.68	0.47	0.69	0.98	72	74	85	84	17	4015
170	0	0.41	x	0.98	0	61	0	69	17	4015
160	0	0.35	x	0.98	0	48	0	54	17	4015
150	0	0	x	x	0	0	0	0	17	4015

Tabela 49: 18 godina, izvor SON-T 100W

U [V]	I[A] za elektromagnetski balast	I[A] za elektronski balast	Faktor snage PF za elektromagnetski balast	Faktor snage PF za elektronski balast	Psijalica [%] za elektromagnetski balast	Psijalica [%] za elektronski balast	Psistema [W] za elektromagnetski balast	Psistema [W] za elektronski balast	starost instalacije [god]	starost izvora [h]
300	0.90	0.39	0.68	0.98	155	102	183	115	18	8030
290	0.89	0.40	0.68	0.98	148	102	175	115	18	8030
280	0.88	0.42	0.68	0.98	142	102	167	114	18	8030
270	0.87	0.43	0.68	0.98	135	102	160	114	18	8030
260	0.86	0.45	0.68	0.98	128	102	152	114	18	8030
250	0.85	0.46	0.68	0.98	122	101	144	114	18	8030
240	0.84	0.48	0.68	0.98	115	101	137	114	18	8030
230	0.82	0.50	0.68	0.98	109	101	129	114	18	8030
220	0.81	0.53	0.68	0.98	102	101	121	113	18	8030
210	0.79	0.55	0.68	0.98	96	101	113	113	18	8030
200	0.78	0.58	0.68	0.98	89	100	106	113	18	8030
190	0.76	0.53	0.68	0.98	83	88	98	99	18	8030
180	0.74	0.48	0.68	0.98	76	75	90	84	18	8030
170	0	0.42	x	0.98	0	62	0	70	18	8030
160	0	0.35	x	0.98	0	49	0	55	18	8030
150	0	0	x	x	0	0	0	0	18	8030

Tabela 50: 19 godina, izvor SON-T 100W

U [V]	I[A] za elektromagnetski balast	I[A] za elektronski balast	Faktor snage PF za elektromagnetski balast	Faktor snage PF za elektronski balast	Psijalica [%] za elektromagnetski balast	Psijalica [%] za elektronski balast	Psistema [W] za elektromagnetski balast	Psistema [W] za elektronski balast	starost instalacije [god]	starost izvora [h]
300	0.94	0.39	0.67	0.98	159	103	188	115	19	12045
290	0.93	0.41	0.67	0.98	153	103	181	115	19	12045
280	0.93	0.42	0.67	0.98	146	102	173	115	19	12045
270	0.92	0.43	0.67	0.98	140	102	165	115	19	12045
260	0.91	0.45	0.67	0.98	133	102	157	115	19	12045
250	0.90	0.47	0.67	0.98	126	102	150	114	19	12045
240	0.89	0.49	0.67	0.98	120	102	142	114	19	12045
230	0.88	0.51	0.67	0.98	113	101	134	114	19	12045
220	0.86	0.53	0.67	0.98	107	101	127	114	19	12045
210	0.85	0.55	0.67	0.98	100	101	119	114	19	12045
200	0.83	0.58	0.67	0.98	94	101	111	113	19	12045
190	0.82	0.53	0.67	0.98	87	88	103	99	19	12045
180	0.80	0.48	0.67	0.98	81	75	96	85	19	12045
170	0	0.42	x	0.98	0	62	0	70	19	12045
160	0	0.35	x	0.98	0	49	0	55	19	12045
150	0	0	x	x	0	0	0	0	19	12045

Tabela 51: 20 godina, izvor SON-T 100W

U [V]	I[A] za elektromagnetski balast	I[A] za elektronski balast	Faktor snage PF za elektromagnetski balast	Faktor snage PF za elektronski balast	Psjalice [%] za elektromagnetski balast	Psjalice [%] za elektronski balast	Psistema [W] za elektromagnetski balast	Psistema [W] za elektronski balast	starost instalacije [god]	starost izvora [h]
300	0.99	0.39	0.65	0.98	164	103	194	116	20	16060
290	0.98	0.41	0.65	0.98	157	103	186	116	20	16060
280	0.97	0.42	0.65	0.98	151	103	178	116	20	16060
270	0.97	0.44	0.65	0.98	144	103	170	115	20	16060
260	0.96	0.45	0.65	0.98	138	103	163	115	20	16060
250	0.95	0.47	0.65	0.98	131	102	155	115	20	16060
240	0.94	0.49	0.65	0.98	124	102	147	115	20	16060
230	0.93	0.51	0.65	0.98	118	102	140	115	20	16060
220	0.92	0.53	0.65	0.98	111	102	132	114	20	16060
210	0.90	0.56	0.65	0.98	105	102	124	114	20	16060
200	0.89	0.58	0.65	0.98	98	101	116	114	20	16060
190	0.88	0.54	0.65	0.98	92	89	109	100	20	16060
180	0.86	0.48	0.65	0.98	85	76	101	85	20	16060
170	0	0.42	x	0.98	0	63	0	71	20	16060
160	0	0.36	x	0.98	0	50	0	56	20	16060
150	0	0	x	x	0	0	0	0	20	16060

Posmatrajući samo natrijumove izvore snage 100W (tabele 27-51), mogu se izvesti sledeći zaključci:

- Na kraju životnog veka svetiljke (20 godina) njena snaga je 18.6% veća od inicijalne u slučaju elektromagnetskog i 2.7% veća u slučaju elektronskog balasta. Ako se uzme srednja vrednost za period od 20 godina (EM balast – 131.1W, EL balast – 113.9W), dobija se da je korišćenjem elektronskog balasta moguće ostvariti uštede u potrošnji električne energije od približno 13%!
- Sa starenjem instalacije faktor snage u slučaju elektromagnetskih balasta opada sa 0.92 na 0.65, dok je u slučaju elektronskih balasta on praktično nepromenjen tokom perioda od 20 godina i iznosi 0.98. Ako se uzme srednja vrednost za period od 20 godina (EM balast – 104.03VAr, EL balast – 23.12VAr), ukupna potrošnja reaktivne električne energije biće približno 77.78% manja u slučaju svetiljke sa elektronskim balastom!

Tabela 52: nova instalacija, izvor SON-T 150W

U [V]	I[A] za elektromagnetski balast	I[A] za elektronski balast	Faktor snage PF za elektromagnetski balast	Faktor snage PF za elektronski balast	Psijalice [%] za elektromagnetski balast	Psijalice [%] za elektronski balast	Psistema [W] za elektromagnetski balast	Psistema [W] za elektronski balast	starost instalacije [god]	starost izvora [h]
300	0.93	0.58	0.92	0.98	146	101	257	169	0	100
290	0.92	0.59	0.92	0.98	139	101	246	169	0	100
280	0.91	0.62	0.92	0.98	133	101	234	169	0	100
270	0.90	0.64	0.92	0.98	126	101	223	168	0	100
260	0.88	0.66	0.92	0.98	120	101	211	168	0	100
250	0.87	0.69	0.92	0.98	113	100	199	168	0	100
240	0.85	0.71	0.92	0.98	107	100	188	168	0	100
230	0.83	0.74	0.92	0.98	100	100	176	167	0	100
220	0.82	0.77	0.92	0.98	93	100	165	167	0	100
210	0.79	0.81	0.92	0.98	87	100	153	167	0	100
200	0.77	0.85	0.92	0.98	80	99	142	166	0	100
190	0.75	0.78	0.92	0.98	74	87	130	146	0	100
180	0.72	0.70	0.92	0.98	67	74	119	124	0	100
170	0	0.61	x	0.98	0	61	0	102	0	100
160	0	0.51	x	0.98	0	48	0	80	0	100
150	0	0	x	x	0	0	0	0	0	100

Tabela 53: 1 godina, izvor SON-T 150W

U [V]	I[A] za elektromagnetski balast	I[A] za elektronski balast	Faktor snage PF za elektromagnetski balast	Faktor snage PF za elektronski balast	Psijalice [%] za elektromagnetski balast	Psijalice [%] za elektronski balast	Psistema [W] za elektromagnetski balast	Psistema [W] za elektronski balast	starost instalacije [god]	starost izvora [h]
300	0.97	0.58	0.91	0.98	150	102	265	170	1	4015
290	0.96	0.60	0.91	0.98	144	102	253	170	1	4015
280	0.95	0.62	0.91	0.98	137	101	242	170	1	4015
270	0.94	0.64	0.91	0.98	130	101	230	169	1	4015
260	0.93	0.66	0.91	0.98	124	101	219	169	1	4015
250	0.91	0.69	0.91	0.98	117	101	207	169	1	4015
240	0.90	0.72	0.91	0.98	111	101	196	168	1	4015
230	0.88	0.75	0.91	0.98	104	100	184	168	1	4015
220	0.87	0.78	0.91	0.98	98	100	173	168	1	4015
210	0.85	0.81	0.91	0.98	91	100	161	168	1	4015
200	0.83	0.85	0.91	0.98	85	100	150	167	1	4015
190	0.80	0.79	0.91	0.98	78	87	138	146	1	4015
180	0.78	0.71	0.91	0.98	72	74	127	125	1	4015
170	0	0.62	x	0.98	0	61	0	103	1	4015
160	0	0.52	x	0.98	0	48	0	81	1	4015
150	0	0	x	x	0	0	0	0	1	4015

Tabela 54: 2 godine, izvor SON-T 150W

U [V]	I[A] za elektromagnetski balast	I[A] za elektronski balast	Faktor snage PF za elektromagnetski balast	Faktor snage PF za elektronski balast	Psijalice [%] za elektromagnetski balast	Psijalice [%] za elektronski balast	Psistema [W] za elektromagnetski balast	Psistema [W] za elektronski balast	starost instalacije [god]	starost izvora [h]
300	1.02	0.58	0.89	0.98	155	102	273	171	2	8030
290	1.01	0.60	0.89	0.98	148	102	261	171	2	8030
280	1.00	0.62	0.89	0.98	142	102	250	170	2	8030
270	0.99	0.64	0.89	0.98	135	102	238	170	2	8030
260	0.98	0.67	0.89	0.98	128	102	227	170	2	8030
250	0.96	0.69	0.89	0.98	122	101	215	170	2	8030
240	0.95	0.72	0.89	0.98	115	101	204	169	2	8030
230	0.94	0.75	0.89	0.98	109	101	192	169	2	8030
220	0.92	0.78	0.89	0.98	102	101	181	169	2	8030
210	0.90	0.82	0.89	0.98	96	101	169	168	2	8030
200	0.88	0.86	0.89	0.98	89	100	158	168	2	8030
190	0.86	0.79	0.89	0.98	83	88	146	147	2	8030
180	0.84	0.71	0.89	0.98	76	75	135	125	2	8030
170	0	0.62	x	0.98	0	62	0	104	2	8030
160	0	0.52	x	0.98	0	49	0	82	2	8030
150	0	0	x	x	0	0	0	0	2	8030

Tabela 55: 3 godine, izvor SON-T 150W

U [V]	I[A] za elektromagnetski balast	I[A] za elektronski balast	Faktor snage PF za elektromagnetski balast	Faktor snage PF za elektronski balast	Psijalice [%] za elektromagnetski balast	Psijalice [%] za elektronski balast	Psistema [W] za elektromagnetski balast	Psistema [W] za elektronski balast	starost instalacije [god]	starost izvora [h]
300	1.06	0.58	0.88	0.98	159	103	281	172	3	12045
290	1.06	0.60	0.88	0.98	153	103	269	172	3	12045
280	1.05	0.62	0.88	0.98	146	102	258	171	3	12045
270	1.04	0.65	0.88	0.98	140	102	246	171	3	12045
260	1.03	0.67	0.88	0.98	133	102	235	171	3	12045
250	1.01	0.70	0.88	0.98	126	102	223	170	3	12045
240	1.00	0.72	0.88	0.98	120	102	212	170	3	12045
230	0.99	0.75	0.88	0.98	113	101	200	170	3	12045
220	0.97	0.79	0.88	0.98	107	101	189	170	3	12045
210	0.96	0.82	0.88	0.98	100	101	177	169	3	12045
200	0.94	0.86	0.88	0.98	94	101	166	169	3	12045
190	0.92	0.79	0.88	0.98	87	88	154	148	3	12045
180	0.90	0.72	0.88	0.98	81	75	143	126	3	12045
170	0	0.63	x	0.98	0	62	0	104	3	12045
160	0	0.53	x	0.98	0	49	0	83	3	12045
150	0	0	x	x	0	0	0	0	3	12045

Tabela 56: 4 godine, izvor SON-T 150W

U [V]	I[A] za elektromagnetski balast	I[A] za elektronski balast	Faktor snage PF za elektromagnetski balast	Faktor snage PF za elektronski balast	Psijalice [%] za elektromagnetski balast	Psijalice [%] za elektronski balast	Psistema [W] za elektromagnetski balast	Psistema [W] za elektronski balast	starost instalacije [god]	starost izvora [h]
300	1.11	0.59	0.87	0.98	164	103	289	173	4	16060
290	1.10	0.61	0.87	0.98	157	103	277	172	4	16060
280	1.09	0.63	0.87	0.98	151	103	266	172	4	16060
270	1.09	0.65	0.87	0.98	144	103	254	172	4	16060
260	1.08	0.67	0.87	0.98	138	103	243	172	4	16060
250	1.07	0.70	0.87	0.98	131	102	231	171	4	16060
240	1.06	0.73	0.87	0.98	124	102	220	171	4	16060
230	1.04	0.76	0.87	0.98	118	102	208	171	4	16060
220	1.03	0.79	0.87	0.98	111	102	197	170	4	16060
210	1.02	0.83	0.87	0.98	105	102	185	170	4	16060
200	1.00	0.87	0.87	0.98	98	101	174	170	4	16060
190	0.98	0.80	0.87	0.98	92	89	162	149	4	16060
180	0.97	0.72	0.87	0.98	85	76	151	127	4	16060
170	0	0.63	x	0.98	0	63	0	105	4	16060
160	0	0.53	x	0.98	0	50	0	83	4	16060
150	0	0	x	x	0	0	0	0	4	16060

Tabela 57: 4 godine - zamena izvora, izvor SON-T 150W

U [V]	I[A] za elektromagnetski balast	I[A] za elektronski balast	Faktor snage PF za elektromagnetski balast	Faktor snage PF za elektronski balast	Psijalice [%] za elektromagnetski balast	Psijalice [%] za elektronski balast	Psistema [W] za elektromagnetski balast	Psistema [W] za elektronski balast	starost instalacije [god]	starost izvora [h]
300	0.99	0.58	0.87	0.98	146	101	257	169	4	100
290	0.98	0.59	0.87	0.98	139	101	246	169	4	100
280	0.96	0.62	0.87	0.98	133	101	234	169	4	100
270	0.95	0.64	0.87	0.98	126	101	223	168	4	100
260	0.94	0.66	0.87	0.98	120	101	211	168	4	100
250	0.92	0.69	0.87	0.98	113	100	199	168	4	100
240	0.90	0.71	0.87	0.98	107	100	188	168	4	100
230	0.89	0.74	0.87	0.98	100	100	176	167	4	100
220	0.87	0.77	0.87	0.98	93	100	165	167	4	100
210	0.84	0.81	0.87	0.98	87	100	153	167	4	100
200	0.82	0.85	0.87	0.98	80	99	142	166	4	100
190	0.79	0.78	0.87	0.98	74	87	130	146	4	100
180	0.76	0.70	0.87	0.98	67	74	119	124	4	100
170	0	0.61	x	0.98	0	61	0	102	4	100
160	0	0.51	x	0.98	0	48	0	80	4	100
150	0	0	x	x	0	0	0	0	4	100

Tabela 58: 5 godina, izvor SON-T 150W

U [V]	I[A] za elektromagnetski balast	I[A] za elektronski balast	Faktor snage PF za elektromagnetski balast	Faktor snage PF za elektronski balast	Psijalice [%] za elektromagnetski balast	Psijalice [%] za elektronski balast	Psistema [W] za elektromagnetski balast	Psistema [W] za elektronski balast	starost instalacije [god]	starost izvora [h]
300	1.03	0.58	0.85	0.98	150	102	265	170	5	4015
290	1.02	0.60	0.85	0.98	144	102	253	170	5	4015
280	1.01	0.62	0.85	0.98	137	101	242	170	5	4015
270	1.00	0.64	0.85	0.98	130	101	230	169	5	4015
260	0.99	0.66	0.85	0.98	124	101	219	169	5	4015
250	0.97	0.69	0.85	0.98	117	101	207	169	5	4015
240	0.96	0.72	0.85	0.98	111	101	196	168	5	4015
230	0.94	0.75	0.85	0.98	104	100	184	168	5	4015
220	0.92	0.78	0.85	0.98	98	100	173	168	5	4015
210	0.90	0.81	0.85	0.98	91	100	161	168	5	4015
200	0.88	0.85	0.85	0.98	85	100	150	167	5	4015
190	0.85	0.79	0.85	0.98	78	87	138	146	5	4015
180	0.82	0.71	0.85	0.98	72	74	127	125	5	4015
170	0	0.62	x	0.98	0	61	0	103	5	4015
160	0	0.52	x	0.98	0	48	0	81	5	4015
150	0	0	x	x	0	0	0	0	5	4015

Tabela 59: 6 godina, izvor SON-T 150W

U [V]	I[A] za elektromagnetski balast	I[A] za elektronski balast	Faktor snage PF za elektromagnetski balast	Faktor snage PF za elektronski balast	Psijalice [%] za elektromagnetski balast	Psijalice [%] za elektronski balast	Psistema [W] za elektromagnetski balast	Psistema [W] za elektronski balast	starost instalacije [god]	starost izvora [h]
300	1.08	0.58	0.84	0.98	155	102	273	171	6	8030
290	1.07	0.60	0.84	0.98	148	102	261	171	6	8030
280	1.06	0.62	0.84	0.98	142	102	250	170	6	8030
270	1.05	0.64	0.84	0.98	135	102	238	170	6	8030
260	1.04	0.67	0.84	0.98	128	102	227	170	6	8030
250	1.02	0.69	0.84	0.98	122	101	215	170	6	8030
240	1.01	0.72	0.84	0.98	115	101	204	169	6	8030
230	0.99	0.75	0.84	0.98	109	101	192	169	6	8030
220	0.98	0.78	0.84	0.98	102	101	181	169	6	8030
210	0.96	0.82	0.84	0.98	96	101	169	168	6	8030
200	0.94	0.86	0.84	0.98	89	100	158	168	6	8030
190	0.92	0.79	0.84	0.98	83	88	146	147	6	8030
180	0.89	0.71	0.84	0.98	76	75	135	125	6	8030
170	0	0.62	x	0.98	0	62	0	104	6	8030
160	0	0.52	x	0.98	0	49	0	82	6	8030
150	0	0	x	x	0	0	0	0	6	8030

Tabela 60: 7 godina, izvor SON-T 150W

U [V]	I[A] za elektromagnetski balast	I[A] za elektronski balast	Faktor snage PF za elektromagnetski balast	Faktor snage PF za elektronski balast	Psijalice [%] za elektromagnetski balast	Psijalice [%] za elektronski balast	Psistema [W] za elektromagnetski balast	Psistema [W] za elektronski balast	starost instalacije [god]	starost izvora [h]
300	1.13	0.58	0.83	0.98	159	103	281	172	7	12045
290	1.12	0.60	0.83	0.98	153	103	269	172	7	12045
280	1.11	0.62	0.83	0.98	146	102	258	171	7	12045
270	1.10	0.65	0.83	0.98	140	102	246	171	7	12045
260	1.09	0.67	0.83	0.98	133	102	235	171	7	12045
250	1.08	0.70	0.83	0.98	126	102	223	170	7	12045
240	1.07	0.72	0.83	0.98	120	102	212	170	7	12045
230	1.05	0.75	0.83	0.98	113	101	200	170	7	12045
220	1.04	0.79	0.83	0.98	107	101	189	170	7	12045
210	1.02	0.82	0.83	0.98	100	101	177	169	7	12045
200	1.00	0.86	0.83	0.98	89	101	166	169	7	12045
190	0.98	0.79	0.83	0.98	87	88	154	148	7	12045
180	0.96	0.72	0.83	0.98	81	75	143	126	7	12045
170	0	0.63	x	0.98	0	62	0	104	7	12045
160	0	0.53	x	0.98	0	49	0	83	7	12045
150	0	0	x	x	0	0	0	0	7	12045

Tabela 61: 8 godina, izvor SON-T 150W

U [V]	I[A] za elektromagnetski balast	I[A] za elektronski balast	Faktor snage PF za elektromagnetski balast	Faktor snage PF za elektronski balast	Psijalice [%] za elektromagnetski balast	Psijalice [%] za elektronski balast	Psistema [W] za elektromagnetski balast	Psistema [W] za elektronski balast	starost instalacije [god]	starost izvora [h]
300	1.18	0.59	0.81	0.98	164	103	289	173	8	16060
290	1.18	0.61	0.81	0.98	157	103	277	172	8	16060
280	1.17	0.63	0.81	0.98	151	103	266	172	8	16060
270	1.16	0.65	0.81	0.98	144	103	254	172	8	16060
260	1.15	0.67	0.81	0.98	138	103	243	172	8	16060
250	1.14	0.70	0.81	0.98	131	102	231	171	8	16060
240	1.13	0.73	0.81	0.98	124	102	220	171	8	16060
230	1.11	0.76	0.81	0.98	118	102	208	171	8	16060
220	1.10	0.79	0.81	0.98	111	102	197	170	8	16060
210	1.08	0.83	0.81	0.98	105	102	185	170	8	16060
200	1.07	0.87	0.81	0.98	98	101	174	170	8	16060
190	1.05	0.80	0.81	0.98	92	89	162	149	8	16060
180	1.03	0.72	0.81	0.98	85	76	151	127	8	16060
170	0	0.63	x	0.98	0	63	0	105	8	16060
160	0	0.53	x	0.98	0	50	0	83	8	16060
150	0	0	x	x	0	0	0	0	8	16060

Tabela 62: 8 godina - zamena izvora, izvor SON-T 150W

U [V]	I[A] za elektromagnetski balast	I[A] za elektronski balast	Faktor snage PF za elektromagnetski balast	Faktor snage PF za elektronski balast	Psijalice [%] za elektromagnetski balast	Psijalice [%] za elektronski balast	Psistema [W] za elektromagnetski balast	Psistema [W] za elektronski balast	starost instalacije [god]	starost izvora [h]
300	1.05	0.58	0.81	0.98	146	101	257	169	8	100
290	1.04	0.59	0.81	0.98	139	101	246	169	8	100
280	1.03	0.62	0.81	0.98	133	101	234	169	8	100
270	1.01	0.64	0.81	0.98	126	101	223	168	8	100
260	1.00	0.66	0.81	0.98	120	101	211	168	8	100
250	0.98	0.69	0.81	0.98	113	100	199	168	8	100
240	0.96	0.71	0.81	0.98	107	100	188	168	8	100
230	0.94	0.74	0.81	0.98	100	100	176	167	8	100
220	0.92	0.77	0.81	0.98	93	100	165	167	8	100
210	0.90	0.81	0.81	0.98	87	100	153	167	8	100
200	0.87	0.85	0.81	0.98	80	99	142	166	8	100
190	0.84	0.78	0.81	0.98	74	87	130	146	8	100
180	0.81	0.70	0.81	0.98	67	74	119	124	8	100
170	0	0.61	x	0.98	0	61	0	102	8	100
160	0	0.51	x	0.98	0	48	0	80	8	100
150	0	0	x	x	0	0	0	0	8	100

Tabela 63: 9 godina, izvor SON-T 150W

U [V]	I[A] za elektromagnetski balast	I[A] za elektronski balast	Faktor snage PF za elektromagnetski balast	Faktor snage PF za elektronski balast	Psijalice [%] za elektromagnetski balast	Psijalice [%] za elektronski balast	Psistema [W] za elektromagnetski balast	Psistema [W] za elektronski balast	starost instalacije [god]	starost izvora [h]
300	1.10	0.58	0.80	0.98	150	102	265	170	9	4015
290	1.09	0.60	0.80	0.98	144	102	253	170	9	4015
280	1.08	0.62	0.80	0.98	137	101	242	170	9	4015
270	1.07	0.64	0.80	0.98	130	101	230	169	9	4015
260	1.05	0.66	0.80	0.98	124	101	219	169	9	4015
250	1.04	0.69	0.80	0.98	117	101	207	169	9	4015
240	1.02	0.72	0.80	0.98	111	101	196	168	9	4015
230	1.00	0.75	0.80	0.98	104	100	184	168	9	4015
220	0.98	0.78	0.80	0.98	98	100	173	168	9	4015
210	0.96	0.81	0.80	0.98	91	100	161	168	9	4015
200	0.94	0.85	0.80	0.98	85	100	150	167	9	4015
190	0.91	0.79	0.80	0.98	78	87	138	146	9	4015
180	0.88	0.71	0.80	0.98	72	74	127	125	9	4015
170	0	0.62	x	0.98	0	61	0	103	9	4015
160	0	0.52	x	0.98	0	48	0	81	9	4015
150	0	0	x	x	0	0	0	0	9	4015

Tabela 64: 10 godina, izvor SON-T 150W

ZAMENA ELEKTRONSKOG BALASTA I KONDENZATORA

U [V]	I[A] za elektromagnetski balast	I[A] za elektronski balast	Faktor snage PF za elektromagnetski balast	Faktor snage PF za elektronski balast	Psijalice [%] za elektromagnetski balast	Psijalice [%] za elektronski balast	Psistema [W] za elektromagnetski balast	Psistema [W] za elektronski balast	starost instalacije [god]	starost izvora [h]
300	1.16	0.58	0.79	0.98	155	102	273	171	10	8030
290	1.15	0.60	0.79	0.98	148	102	261	171	10	8030
280	1.13	0.62	0.79	0.98	142	102	250	170	10	8030
270	1.12	0.64	0.79	0.98	135	102	238	170	10	8030
260	1.11	0.67	0.79	0.98	128	102	227	170	10	8030
250	1.09	0.69	0.79	0.98	122	101	215	170	10	8030
240	1.08	0.72	0.79	0.98	115	101	204	169	10	8030
230	1.06	0.75	0.79	0.98	109	101	192	169	10	8030
220	1.04	0.78	0.79	0.98	102	101	181	169	10	8030
210	1.02	0.82	0.79	0.98	96	101	169	168	10	8030
200	1.00	0.86	0.79	0.98	89	100	158	168	10	8030
190	0.98	0.79	0.79	0.98	83	88	146	147	10	8030
180	0.95	0.71	0.79	0.98	76	75	135	125	10	8030
170	0	0.62	x	0.98	0	62	0	104	10	8030
160	0	0.52	x	0.98	0	49	0	82	10	8030
150	0	0	x	x	0	0	0	0	10	8030

Tabela 65: 11 godina, izvor SON-T 150W

U [V]	I[A] za elektromagnetski balast	I[A] za elektronski balast	Faktor snage PF za elektromagnetski balast	Faktor snage PF za elektronski balast	Psijalice [%] za elektromagnetski balast	Psijalice [%] za elektronski balast	Psistema [W] za elektromagnetski balast	Psistema [W] za elektronski balast	starost instalacije [god]	starost izvora [h]
300	1.21	0.58	0.77	0.98	159	103	281	172	11	12045
290	1.20	0.60	0.77	0.98	153	103	269	172	11	12045
280	1.19	0.62	0.77	0.98	146	102	258	171	11	12045
270	1.18	0.65	0.77	0.98	140	102	246	171	11	12045
260	1.17	0.67	0.77	0.98	133	102	235	171	11	12045
250	1.15	0.70	0.77	0.98	126	102	223	170	11	12045
240	1.14	0.72	0.77	0.98	120	102	212	170	11	12045
230	1.13	0.75	0.77	0.98	113	101	200	170	11	12045
220	1.11	0.79	0.77	0.98	107	101	189	170	11	12045
210	1.09	0.82	0.77	0.98	100	101	177	169	11	12045
200	1.07	0.86	0.77	0.98	94	101	166	169	11	12045
190	1.05	0.79	0.77	0.98	87	88	154	148	11	12045
180	1.02	0.72	0.77	0.98	81	75	143	126	11	12045
170	0	0.63	x	0.98	0	62	0	104	11	12045
160	0	0.53	x	0.98	0	49	0	83	11	12045
150	0	0	x	x	0	0	0	0	11	12045

Tabela 66: 12 godina, izvor SON-T 150W

U [V]	I[A] za elektromagnetski balast	I[A] za elektronski balast	Faktor snage PF za elektromagnetski balast	Faktor snage PF za elektronski balast	Psijalice [%] za elektromagnetski balast	Psijalice [%] za elektronski balast	Psistema [W] za elektromagnetski balast	Psistema [W] za elektronski balast	starost instalacije [god]	starost izvora [h]
300	1.27	0.59	0.76	0.98	164	103	289	173	12	16060
290	1.26	0.61	0.76	0.98	157	103	277	172	12	16060
280	1.25	0.63	0.76	0.98	151	103	266	172	12	16060
270	1.24	0.65	0.76	0.98	144	103	254	172	12	16060
260	1.23	0.67	0.76	0.98	138	103	243	172	12	16060
250	1.22	0.70	0.76	0.98	131	102	231	171	12	16060
240	1.20	0.73	0.76	0.98	124	102	220	171	12	16060
230	1.19	0.76	0.76	0.98	118	102	208	171	12	16060
220	1.18	0.79	0.76	0.98	111	102	197	170	12	16060
210	1.16	0.83	0.76	0.98	105	102	185	170	12	16060
200	1.14	0.87	0.76	0.98	98	101	174	170	12	16060
190	1.12	0.80	0.76	0.98	92	89	162	149	12	16060
180	1.10	0.72	0.76	0.98	85	76	151	127	12	16060
170	0	0.63	x	0.98	0	63	0	105	12	16060
160	0	0.53	x	0.98	0	50	0	83	12	16060
150	0	0	x	x	0	0	0	0	12	16060

Tabela 67: 12 godina - zamena izvora, izvor SON-T 150W

U [V]	I[A] za elektromagnetski balast	I[A] za elektronski balast	Faktor snage PF za elektromagnetski balast	Faktor snage PF za elektronski balast	Psijalice [%] za elektromagnetski balast	Psijalice [%] za elektronski balast	Psistema [W] za elektromagnetski balast	Psistema [W] za elektronski balast	starost instalacije [god]	starost izvora [h]
300	1.13	0.58	0.76	0.98	146	101	257	169	12	100
290	1.11	0.59	0.76	0.98	139	101	246	169	12	100
280	1.10	0.62	0.76	0.98	133	101	234	169	12	100
270	1.08	0.64	0.76	0.98	126	101	223	168	12	100
260	1.07	0.66	0.76	0.98	120	101	211	168	12	100
250	1.05	0.69	0.76	0.98	113	100	199	168	12	100
240	1.03	0.71	0.76	0.98	107	100	188	168	12	100
230	1.01	0.74	0.76	0.98	100	100	176	167	12	100
220	0.99	0.77	0.76	0.98	93	100	165	167	12	100
210	0.96	0.81	0.76	0.98	87	100	153	167	12	100
200	0.93	0.85	0.76	0.98	80	99	142	166	12	100
190	0.90	0.78	0.76	0.98	74	87	130	146	12	100
180	0.87	0.70	0.76	0.98	67	74	119	124	12	100
170	0	0.61	x	0.98	0	61	0	102	12	100
160	0	0.51	x	0.98	0	48	0	80	12	100
150	0	0	x	x	0	0	0	0	12	100

Tabela 68: 13 godina, izvor SON-T 150W

U [V]	I[A] za elektromagnetski balast	I[A] za elektronski balast	Faktor snage PF za elektromagnetski balast	Faktor snage PF za elektronski balast	Psijalice [%] za elektromagnetski balast	Psijalice [%] za elektronski balast	Psistema [W] za elektromagnetski balast	Psistema [W] za elektronski balast	starost instalacije [god]	starost izvora [h]
300	1.18	0.58	0.75	0.98	150	102	265	170	13	4015
290	1.17	0.60	0.75	0.98	144	102	253	170	13	4015
280	1.16	0.62	0.75	0.98	137	101	242	170	13	4015
270	1.14	0.64	0.75	0.98	130	101	230	169	13	4015
260	1.13	0.66	0.75	0.98	124	101	219	169	13	4015
250	1.11	0.69	0.75	0.98	117	101	207	169	13	4015
240	1.09	0.72	0.75	0.98	111	101	196	168	13	4015
230	1.07	0.75	0.75	0.98	104	100	184	168	13	4015
220	1.05	0.78	0.75	0.98	98	100	173	168	13	4015
210	1.03	0.81	0.75	0.98	91	100	161	168	13	4015
200	1.00	0.85	0.75	0.98	85	100	150	167	13	4015
190	0.97	0.79	0.75	0.98	78	87	138	146	13	4015
180	0.94	0.71	0.75	0.98	72	74	127	125	13	4015
170	0	0.62	x	0.98	0	61	0	103	13	4015
160	0	0.52	x	0.98	0	48	0	81	13	4015
150	0	0	x	x	0	0	0	0	13	4015

Tabela 69: 14 godina, izvor SON-T 150W

U [V]	I[A] za elektromagnetski balast	I[A] za elektronski balast	Faktor snage PF za elektromagnetski balast	Faktor snage PF za elektronski balast	Psijalice [%] za elektromagnetski balast	Psijalice [%] za elektronski balast	Psistema [W] za elektromagnetski balast	Psistema [W] za elektronski balast	starost instalacije [god]	starost izvora [h]
300	1.24	0.58	0.73	0.98	155	102	273	171	14	8030
290	1.23	0.60	0.73	0.98	148	102	261	171	14	8030
280	1.22	0.62	0.73	0.98	142	102	250	170	14	8030
270	1.20	0.64	0.73	0.98	135	102	238	170	14	8030
260	1.19	0.67	0.73	0.98	128	102	227	170	14	8030
250	1.17	0.69	0.73	0.98	122	101	215	170	14	8030
240	1.16	0.72	0.73	0.98	115	101	204	169	14	8030
230	1.14	0.75	0.73	0.98	109	101	192	169	14	8030
220	1.12	0.78	0.73	0.98	102	101	181	169	14	8030
210	1.10	0.82	0.73	0.98	96	101	169	168	14	8030
200	1.08	0.86	0.73	0.98	89	100	158	168	14	8030
190	1.05	0.79	0.73	0.98	83	88	146	147	14	8030
180	1.02	0.71	0.73	0.98	76	75	135	125	14	8030
170	0	0.62	x	0.98	0	62	0	104	14	8030
160	0	0.52	x	0.98	0	49	0	82	14	8030
150	0	0	x	x	0	0	0	0	14	8030

Tabela 70: 15 godina, izvor SON-T 150W

U [V]	I[A] za elektromagnetski balast	I[A] za elektronski balast	Faktor snage PF za elektromagnetski balast	Faktor snage PF za elektronski balast	Psijalice [%] za elektromagnetski balast	Psijalice [%] za elektronski balast	Psistema [W] za elektromagnetski balast	Psistema [W] za elektronski balast	starost instalacije [god]	starost izvora [h]
300	1.30	0.58	0.72	0.98	159	103	281	172	15	12045
290	1.29	0.60	0.72	0.98	153	103	269	172	15	12045
280	1.28	0.62	0.72	0.98	146	102	258	171	15	12045
270	1.27	0.65	0.72	0.98	140	102	246	171	15	12045
260	1.25	0.67	0.72	0.98	133	102	235	171	15	12045
250	1.24	0.70	0.72	0.98	126	102	223	170	15	12045
240	1.23	0.72	0.72	0.98	120	102	212	170	15	12045
230	1.21	0.75	0.72	0.98	113	101	200	170	15	12045
220	1.19	0.79	0.72	0.98	107	101	189	170	15	12045
210	1.17	0.82	0.72	0.98	100	101	177	169	15	12045
200	1.15	0.86	0.72	0.98	94	101	166	169	15	12045
190	1.13	0.79	0.72	0.98	87	88	154	148	15	12045
180	1.10	0.72	0.72	0.98	81	75	143	126	15	12045
170	0	0.63	x	0.98	0	62	0	104	15	12045
160	0	0.53	x	0.98	0	49	0	83	15	12045
150	0	0	x	x	0	0	0	0	15	12045

Tabela 71: 16 godina, izvor SON-T 150W

U [V]	I[A] za elektromagnetski balast	I[A] za elektronski balast	Faktor snage PF za elektromagnetski balast	Faktor snage PF za elektronski balast	Psijalice [%] za elektromagnetski balast	Psijalice [%] za elektronski balast	Psistema [W] za elektromagnetski balast	Psistema [W] za elektronski balast	starost instalacije [god]	starost izvora [h]
300	1.36	0.59	0.71	0.98	164	103	289	173	16	16060
290	1.35	0.61	0.71	0.98	157	103	277	172	16	16060
280	1.34	0.63	0.71	0.98	151	103	266	172	16	16060
270	1.33	0.65	0.71	0.98	144	103	254	172	16	16060
260	1.32	0.67	0.71	0.98	138	103	243	172	16	16060
250	1.31	0.70	0.71	0.98	131	102	231	171	16	16060
240	1.30	0.73	0.71	0.98	124	102	220	171	16	16060
230	1.28	0.76	0.71	0.98	118	102	208	171	16	16060
220	1.26	0.79	0.71	0.98	111	102	197	170	16	16060
210	1.25	0.83	0.71	0.98	105	102	185	170	16	16060
200	1.23	0.87	0.71	0.98	98	101	174	170	16	16060
190	1.21	0.80	0.71	0.98	92	89	162	149	16	16060
180	1.18	0.72	0.71	0.98	85	76	151	127	16	16060
170	0	0.63	x	0.98	0	63	0	105	16	16060
160	0	0.53	x	0.98	0	50	0	83	16	16060
150	0	0	x	x	0	0	0	0	16	16060

Tabela 72: 16 godina - zamena izvora, izvor SON-T 150W

U [V]	I[A] za elektromagnetski balast	I[A] za elektronski balast	Faktor snage PF za elektromagnetski balast	Faktor snage PF za elektronski balast	Psijalice [%] za elektromagnetski balast	Psijalice [%] za elektronski balast	Psistema [W] za elektromagnetski balast	Psistema [W] za elektronski balast	starost instalacije [god]	starost izvora [h]
300	1.21	0.58	0.71	0.98	146	101	257	169	16	100
290	1.20	0.59	0.71	0.98	139	101	246	169	16	100
280	1.18	0.62	0.71	0.98	133	101	234	169	16	100
270	1.17	0.64	0.71	0.98	126	101	223	168	16	100
260	1.15	0.66	0.71	0.98	120	101	211	168	16	100
250	1.13	0.69	0.71	0.98	113	100	199	168	16	100
240	1.11	0.71	0.71	0.98	107	100	188	168	16	100
230	1.09	0.74	0.71	0.98	100	100	176	167	16	100
220	1.06	0.77	0.71	0.98	93	100	165	167	16	100
210	1.03	0.81	0.71	0.98	87	100	153	167	16	100
200	1.00	0.85	0.71	0.98	80	99	142	166	16	100
190	0.97	0.78	0.71	0.98	74	87	130	146	16	100
180	0.93	0.70	0.71	0.98	67	74	119	124	16	100
170	0	0.61	x	0.98	0	61	0	102	16	100
160	0	0.51	x	0.98	0	48	0	80	16	100
150	0	0	x	x	0	0	0	0	16	100

Tabela 73: 17 godina, izvor SON-T 150W

U [V]	I[A] za elektromagnetski balast	I[A] za elektronski balast	Faktor snage PF za elektromagnetski balast	Faktor snage PF za elektronski balast	Psijalice [%] za elektromagnetski balast	Psijalice [%] za elektronski balast	Psistema [W] za elektromagnetski balast	Psistema [W] za elektronski balast	starost instalacije [god]	starost izvora [h]
300	1.27	0.58	0.69	0.98	150	102	265	170	17	4015
290	1.26	0.60	0.69	0.98	144	102	253	170	17	4015
280	1.25	0.62	0.69	0.98	137	101	242	170	17	4015
270	1.23	0.64	0.69	0.98	130	101	230	169	17	4015
260	1.21	0.66	0.69	0.98	124	101	219	169	17	4015
250	1.20	0.69	0.69	0.98	117	101	207	169	17	4015
240	1.18	0.72	0.69	0.98	111	101	196	168	17	4015
230	1.16	0.75	0.69	0.98	104	100	184	168	17	4015
220	1.13	0.78	0.69	0.98	98	100	173	168	17	4015
210	1.11	0.81	0.69	0.98	91	100	161	168	17	4015
200	1.08	0.85	0.69	0.98	85	100	150	167	17	4015
190	1.05	0.79	0.69	0.98	78	87	138	146	17	4015
180	1.02	0.71	0.69	0.98	72	74	127	125	17	4015
170	0	0.62	x	0.98	0	61	0	103	17	4015
160	0	0.52	x	0.98	0	48	0	81	17	4015
150	0	0	x	x	0	0	0	0	17	4015

Tabela 74: 18 godina, izvor SON-T 150W

U [V]	I[A] za elektromagnetski balast	I[A] za elektronski balast	Faktor snage PF za elektromagnetski balast	Faktor snage PF za elektronski balast	Psijalice [%] za elektromagnetski balast	Psijalice [%] za elektronski balast	Psistema [W] za elektromagnetski balast	Psistema [W] za elektronski balast	starost instalacije [god]	starost izvora [h]
300	1.34	0.58	0.68	0.98	155	102	273	171	18	8030
290	1.32	0.60	0.68	0.98	148	102	261	171	18	8030
280	1.31	0.62	0.68	0.98	142	102	250	170	18	8030
270	1.30	0.64	0.68	0.98	135	102	238	170	18	8030
260	1.28	0.67	0.68	0.98	128	102	227	170	18	8030
250	1.27	0.69	0.68	0.98	122	101	215	170	18	8030
240	1.25	0.72	0.68	0.98	115	101	204	169	18	8030
230	1.23	0.75	0.68	0.98	109	101	192	169	18	8030
220	1.21	0.78	0.68	0.98	102	101	181	169	18	8030
210	1.18	0.82	0.68	0.98	96	101	169	168	18	8030
200	1.16	0.86	0.68	0.98	89	100	158	168	18	8030
190	1.13	0.79	0.68	0.98	83	88	146	147	18	8030
180	1.10	0.71	0.68	0.98	76	75	135	125	18	8030
170	0	0.62	x	0.98	0	62	0	104	18	8030
160	0	0.52	x	0.98	0	49	0	82	18	8030
150	0	0	x	x	0	0	0	0	18	8030

Tabela 75: 19 godina, izvor SON-T 150W

U [V]	I[A] za elektromagnetski balast	I[A] za elektronski balast	Faktor snage PF za elektromagnetski balast	Faktor snage PF za elektronski balast	Psijalice [%] za elektromagnetski balast	Psijalice [%] za elektronski balast	Psistema [W] za elektromagnetski balast	Psistema [W] za elektronski balast	starost instalacije [god]	starost izvora [h]
300	1.40	0.58	0.67	0.98	159	103	281	172	19	12045
290	1.39	0.60	0.67	0.98	153	103	269	172	19	12045
280	1.38	0.62	0.67	0.98	146	102	258	171	19	12045
270	1.37	0.65	0.67	0.98	140	102	246	171	19	12045
260	1.35	0.67	0.67	0.98	133	102	235	171	19	12045
250	1.34	0.70	0.67	0.98	126	102	223	170	19	12045
240	1.32	0.72	0.67	0.98	120	102	212	170	19	12045
230	1.31	0.75	0.67	0.98	113	101	200	170	19	12045
220	1.29	0.79	0.67	0.98	107	101	189	170	19	12045
210	1.27	0.82	0.67	0.98	100	101	177	169	19	12045
200	1.24	0.86	0.67	0.98	94	101	166	169	19	12045
190	1.22	0.79	0.67	0.98	87	88	154	148	19	12045
180	1.19	0.72	0.67	0.98	81	75	143	126	19	12045
170	0	0.63	x	0.98	0	62	0	104	19	12045
160	0	0.53	x	0.98	0	49	0	83	19	12045
150	0	0	x	x	0	0	0	0	19	12045

Tabela 76: 20 godina, izvor SON-T 150W

U [V]	I[A] za elektromagnetski balast	I[A] za elektronski balast	Faktor snage PF za elektromagnetski balast	Faktor snage PF za elektronski balast	Psijalica [%] za elektromagnetski balast	Psijalica [%] za elektronski balast	Psistema [W] za elektromagnetski balast	Psistema [W] za elektronski balast	starost instalacije [god]	starost izvora [h]
300	1.47	0.59	0.65	0.98	164	103	289	173	20	16060
290	1.46	0.61	0.65	0.98	157	103	277	172	20	16060
280	1.45	0.63	0.65	0.98	151	103	266	172	20	16060
270	1.44	0.65	0.65	0.98	144	103	254	172	20	16060
260	1.43	0.67	0.65	0.98	138	103	243	172	20	16060
250	1.42	0.70	0.65	0.98	131	102	231	171	20	16060
240	1.40	0.73	0.65	0.98	124	102	220	171	20	16060
230	1.39	0.76	0.65	0.98	118	102	208	171	20	16060
220	1.37	0.79	0.65	0.98	111	102	197	170	20	16060
210	1.35	0.83	0.65	0.98	105	102	185	170	20	16060
200	1.33	0.87	0.65	0.98	98	101	174	170	20	16060
190	1.31	0.80	0.65	0.98	92	89	162	149	20	16060
180	1.28	0.72	0.65	0.98	85	76	151	127	20	16060
170	0	0.63	x	0.98	0	63	0	105	20	16060
160	0	0.53	x	0.98	0	50	0	83	20	16060
150	0	0	x	x	0	0	0	0	20	16060

Posmatrajući samo natrijumove izvore snage 150W (tabele 52-76), daljom analizom mogu se izvesti sledeći zaključci:

- Na kraju životnog veka svetiljke (20 godina) njena snaga je 15.4% veća od inicijalne u slučaju elektromagnetskog i 2.3% veća u slučaju elektronskog balasta. Ako se uzme srednja vrednost za period od 20 godina (EM balast – 195W, EL balast – 169.4W), dobija se da je korišćenjem elektronskog balasta moguće ostvariti uštede u potrošnji električne energije od približno 13%!
- Sa starenjem instalacije faktor snage u slučaju elektromagnetskih balasta opada sa 0.92 na 0.65, dok je u slučaju elektronskih balasta on praktično nepromenjen tokom perioda od 20 godina i iznosi 0.98. Ako se uzme srednja vrednost za period od 20 godina (EM balast – 154.14VAr, EL balast – 34.39VAr), ukupna potrošnja reaktivne električne energije biće približno 77.69% manja u slučaju svetiljke sa elektronskim balastom!

Može se zaključiti da se za sve tri snage natrijumovih izvora visokog pritiska analizirane u ovom radu (70, 100 i 150W), upotrebom elektronskog umesto elektromagnetskog balasta mogu ostvariti uštede električne energije (njenog aktivnog dela, onog kojeg korisnik plaća elektrodistribuciji) od 13% i uštede u reaktivnoj električnoj energiji od približno 78%. Ove vrednosti dobijene su isključivo analizom uticaja starenja električnog kola svetiljke na potrošnju električne energije, dok će u narednim poglavljima biti tretirani ostali faktori koji utiču na komparativnu analizu dva posmatrana tipa balasta.

4.2. PAD NAPONA KAO UTICAJNI FAKTOR [41]

Zadatak istraživanja je bio da odgovori na pitanje da li je upotreba elektronskih balasta u instalacijama javnog osvetljenja tehnički opravdana i ekonomski isplativa. Osnovni ulazni podaci sprovedene analize bili su:

- geometrija saobraćajnice (broj i širina vozničkih traka i širina centralnog (nevoznog) pojasa),
- visina stuba (tačnije, visina optičkog centra svetiljke),
- tip svetiljke,
- tip i snaga izvora svetlosti i balasta,
- nagib svetiljke,
- dužina lina i svetiljke,
- rastojanje stuba od bliže ivice kolovoza,
- svetlotehnička klasa saobraćajnice,
- refleksiona klasa kolovoza i vrednost srednjeg koeficijenta sjajnosti (Q_0), i
- tip i presek kabla za napajanje instalacije javnog osvetljenja.

Poređenje elektromagnetskih i elektronskih balasta vršeno je za monofazna, dvofazna i trofazna strujna kola (po 3 primera za svaki tip strujnog kola), tj. izabrano je 9 tipičnih profila, prikazanih u tabeli 77, i za svaki od njih su urađeni fotometrijski proračuni. U koloni "raspored" u tabeli 77 zastupljeni su samo jednostrani i centralni raspored, jer se, sa stanovišta izračunavanja pada napona, preostala dva moguća rasporeda stubova (dvostrani naspramni i cik-cak raspored) mogu podvesti pod jednostrani raspored!

Izvršena su sledeća pojednostavljenja:

- izbor svetlotehničke klase saobraćajnice (preporučenog nivoa sjajnosti), visine stuba, dužine lina (ukoliko je ima), nagiba svetiljke i prevesa izvršen je empirijski, na osnovu višegodišnjeg iskustva u oblasti fotometrijskih proračuna javnog osvetljenja,
- analiza je rađena isključivo za natrijumove izvore visokog pritiska, snage 70,100 i 150W,
- analiza je urađena sa svetiljkama tipa ONYX 2, NANO 1, ARAMIS i IPSO (proizvođač Minel-Schreder),
- Analiza je urađena sa sijalicama tipa Philips MASTER SON-T PIA Plus (70,100 i 150W),
- usvojena je refleksiona klasa saobraćajnice RIII ($Q_0=0.07\text{cd}/(\text{lx}\cdot\text{m}^2)$), koja je karakteristična za površinske slojeve kolovoza u Srbiji,
- analiza je vršena sa provodnicima od bakra (preseka $S=10, 16$ i 25mm^2) i aluminijuma (preseka $S=10, 16, 25$ i 35mm^2),
- pri izradi analize pretpostavljene su sledeće vrednosti faktora snage svetiljke: $\cos\varphi=0.85$ (za elektromagnetske balaste) i $\cos\varphi=0.95$ (za elektronske balaste).

Tabela 77. Karakteristični profili za analizu

SISTEM NAPAJANJA	SVETILJKA	IZVOR	RASPORED	ŠIRINA TRAKE	BROJ TRAKA	VISINA [m]	RASPON [m]	SREDNJA SJAJNOST Lsr [cd/m ²]
1-FAZNI	NANO 1	MASTER SON-T PIA PLUS 70W (6.6 klm)	JEDNOSTRANI	2.5	2	6	29	0.75
	OPALO 1	MASTER SON-T PIA PLUS 100W (10.7 klm)	JEDNOSTRANI	3	2	7	24	1.50
	ONYX 2	MASTER SON-T PIA PLUS 150W (17.5 klm)	JEDNOSTRANI	3.5	2	9	36	1.52
2-FAZNI	NANO 1	MASTER SON-T PIA PLUS 70W (6.6 klm)	JEDNOSTRANI	3	2	6	26	0.77
	ARAMIS	MASTER SON-T PIA PLUS 100W (10.7 klm)	JEDNOSTRANI	3	2	7	27	1.02
	ONYX 2	MASTER SON-T PIA PLUS 150W (17.5 klm)	CENTRALNI	3.5	2x2	10	40	1.51
3-FAZNI	NANO 1	MASTER SON-T PIA PLUS 70W (6.6 klm)	JEDNOSTRANI	2.5	2	5	23	1.00
	IPSO	MASTER SON-T PIA PLUS 100W (10.7 klm)	JEDNOSTRANI	3.5	2	7	27	1.50
	ONYX 2	MASTER SON-T PIA PLUS 150W (17.5 klm)	CENTRALNI	3.5	2x2	10	40	1.51

Fotometrijska analiza je imala za cilj da za potrebe dalje analize obezbedi samo jedan izlazni podatak - *rastojanje između susednih stubova (raspon), L_1 !*

Korišćenjem formula [41] predstavljenih u dodatku, za svaku od 9 izabranih saobraćajnica izvršeni su proračuni pada napona, sa ciljem da se za svaku kombinaciju preseka i faktora snage odredi maksimalan dozvoljeni broj stubova po jednoj napojnoj deonici, n_{max} , za koji pad napona neće preći maksimalno dozvoljeni pad napona, Δu_{max} .

Prema podacima Philips Lighting-a [42], maksimalna dozvoljena vrednost pada napona za analizirane izvore svetlosti iznosi 8%. Pošto se u praksi za pad napona od TS do RO i od pločice u stubu do svetiljke ostavlja 3%, Δu_{max} iznosi 5%.

Naglašavamo da ne postoji međunarodni standard koji precizno definiše dozvoljeni pad napona u strujnim kolima javnog osvetljenja!

Prema IEC 60364-6 (isto kao i EN 60364-6 ili BS EN 60364-6) i BS7671:2008, za maksimalnu vrednost pada napona do električnog potrošača može se koristiti tabela 78.

Tabela 78. Maksimalno dozvoljeni pad napona prema BS7671

Type of installations	Lighting circuits	Other uses (heating and power)
A low-voltage service connection from a LV public power distribution network	3%	5%
Consumers MV/LV substation supplied from a public distribution MV system	6%	8%

Iz tabele 78 može da se vidi da dozvoljeni pad napona za kola osvetljenja iznosi 3% u slučaju da se električna instalacija napaja direktno iz NN mreže (pad napona od priključnog mesta do potrošača), a 6% u slučaju da se električna instalacija napaja neposredno iz transformatorske stanice priključene na srednji napon (pad napona od TS do potrošača). Prvi slučaj se javlja npr. u slučaju nadzemne kablovske mreže sa koje se pored kola osvetljenja napajaju i drugi potrošači. Sve novije instalacije uglavnom imaju sopstvenu transformatorsku stanicu i instalacija JO je razdvojena od ostalih potrošača.

U zavisnosti od različitih preporuka i inženjerske prakse, dozvoljeni pad napona može varirati upravo u opsegu od 3% do 8%. Važno je naglasiti da se pad napona od 3% uzima u većini sistema kada se sa sigurnošću želi da oprema radi na zadovoljavajući način. Tako npr. zbog nelinearnog odnosa napona i svetlosnog fluksa, za pad napona od 5% svetlosni fluks pada 13%, a za pad napona od 3% svetlosni fluks pada otprilike 7%. Jasno je iz priloženog da je u interesu svih korisnika da se pad napona ograniči tako da varijacije svetlosnog fluksa (a posledično i postignutog nivoa sjajnosti na saobraćajnici) ne budu prevelike. Međutim, ovaj problem ima i svoju ekonomsku stranu pa se u inženjerskoj praksi (u cilju povećanja dužine napajane trase) obično uzima da **dozvoljeni pad napona od RO javnog osvetljenja do najudaljenije svetiljke iznosi 5%!** Navedena vrednost je korišćena u predmetnoj analizi, pri čemu će u daljem izlaganju biti osvrta na ovaj problem kroz uticaj naponskog faktora. Napominje se da je navedena vrednost korišćena u slučaju elektromagnetskih balasta, dok je u slučaju elektronskih balasta uzeta vrednost od **10%** (uređaj dozvoljava i veće varijacije mrežnog napona).

U tabeli 79 date su vrednosti podužnih aktivnih i induktivnih otpornosti bakarnih i aluminijumskih kablova za različite preseke i različit broj žila (u zavisnosti od toga da li se radi o trofaznom, dvofaznom ili monofaznom sistemu napajanja, odnosno da li se koristi 4-žilni ili 3-žilni kabl).

Zbog otežanog priključivanja, ne preporučuje se upotreba kablova preseka većeg od 25mm² u slučaju bakarnih provodnika, dok se u slučaju aluminijumskih provodnika može koristiti i presek 35mm² !

Tabela 79. Podužne aktivne i induktivne otpornosti kablova

	S= 10mm ²	S= 16mm ²	S= 25mm ²	S= 35mm ²
R_{cu} [Ω/km]	1.81	1.14	0.722	
R_{Al} [Ω/km]	3	1.89	1.2	0.876
x_{3f} [Ω/km]	0.094	0.09	0.086	0.083
x_{2f} [Ω/km]	0.088	0.083	0.08	0.077
x_{1f} [Ω/km]	0.088	0.083	0.08	0.077

Za proračun pada napona neophodno je poznavati ukupnu snagu svetiljke, tj. snagu predspojne opreme. U tabeli 80 prikazani su gubici koji se imaju u kolu sijalice u slučaju elektromagnetskih i elektronskih balasta.

Tabela 80. Gubici na balastu

Gubici na balastu:		
Snaga izvora	EM	EL
70W	12.4W	11
100W	13.7W	14
150W	18.7W	16

Podaci iz tabele 80 uzeti su iz kataloga (2010) proizvođača Tridonic (za elektromagnetski balast – tip OMBIS 35-150W) i brošure proizvođača Philips (tip PrimaVision SON/CDO).

Maksimalno dozvoljeni brojevi stubova i odgovarajući padovi napona za sve razmatrane slučajeve, za trofazni, dvofazni i monofazni sistem napajanja, dati su tabelarno (tabele 81-86).

Tabela 81. ELEKTRONSKI BALAST - TROFAZNI SISTEM

cos φ = 0.95

TIP IZVORA	RASPORED STUBOVA	RASPORED L1 [m]	BROJ STUBOVA n I PAD NAPONA ΔU [%]													
			Cu [mm2]						Al [mm2]							
			10		16		25		10		16		25		35	
			n	Δu [%]	n	Δu [%]	n	Δu [%]	n	Δu [%]	n	Δu [%]	n	Δu [%]	n	Δu [%]
MASTER SON-T PIA PLUS 70W (6.6 klm)	JEDNOSTRANI	23	89	9.98	112	9.90	141	9.94	68	9.80	87	9.96	109	9.86	128	9.92
MASTER SON-T PIA PLUS 100W (10.7 klm)	JEDNOSTRANI	27	68	9.72	87	9.90	109	9.83	53	9.97	67	9.85	85	9.94	99	9.82
MASTER SON-T PIA PLUS 150W (17.5 klm)	CENTRALNI	40	33	9.80	42	9.86	74	9.81	25	9.57	32	9.67	41	9.91	48	9.85

Tabela 82. ELEKTROMAGNETSKI BALAST - TROFAZNI SISTEM

cos φ = 0.85

TIP IZVORA	RASPORED STUBOVA	RASPON L1 [m]	BROJ STUBOVA n I PAD NAPONA ΔU [%]													
			Cu [mm2]						Al [mm2]							
			10		16		25		10		16		25		35	
			n	Δu [%]	n	Δu [%]	n	Δu [%]	n	Δu [%]	n	Δu [%]	n	Δu [%]	n	Δu [%]
MASTER SON-T PIA PLUS 70W (6.6 klm)	JEDNOSTRANI	23	60	4.87	76	4.89	96	4.97	46	4.85	59	4.91	74	4.87	87	4.92
MASTER SON-T PIA PLUS 100W (10.7 klm)	JEDNOSTRANI	27	47	4.93	59	4.85	74	4.82	36	4.92	46	4.93	58	4.91	68	4.91
MASTER SON-T PIA PLUS 150W (17.5 klm)	CENTRALNI	40	22	4.77	28	4.78	36	4.97	17	4.92	22	4.97	27	4.68	32	4.77

Tabela 83. ELEKTRONSKI BALAST - DVOFAZNI SISTEM

 $\cos \varphi = 0.95$

TIP IZVORA	RASPORED STUBOVA	RASPON L1 [m]	BROJ STUBOVA n I PAD NAPONA ΔU [%]													
			Cu [mm2]						Al [mm2]							
			10		16		25		10		16		25		35	
			n	Δu [%]	n	Δu [%]	n	Δu [%]	n	Δu [%]	n	Δu [%]	n	Δu [%]	n	Δu [%]
MASTER SON-T PIA PLUS 70W (6.6 klm)	JEDNOSTRANI	26	52	9.68	67	9.98	84	9.79	40	9.64	51	9.74	65	9.91	76	9.79
MASTER SON-T PIA PLUS 100W (10.7 klm)	JEDNOSTRANI	27	43	9.74	55	9.87	70	9.96	33	9.69	42	9.71	53	9.68	63	9.87
MASTER SON-T PIA PLUS 150W (17.5 klm)	CENTRALNI	40	21	9.73	27	9.98	34	9.87	16	9.54	20	9.25	26	9.77	30	9.40

Tabela 84. ELEKTROMAGNETSKI BALAST - DVOFAZNI SISTEM

 $\cos \varphi = 0.85$

TIP IZVORA	RASPORED STUBOVA	RASPON L1 [m]	BROJ STUBOVA n I PAD NAPONA ΔU [%]													
			Cu [mm2]						Al [mm2]							
			10		16		25		10		16		25		35	
			n	Δu [%]	n	Δu [%]	n	Δu [%]	n	Δu [%]	n	Δu [%]	n	Δu [%]	n	Δu [%]
MASTER SON-T PIA PLUS 70W (6.6 klm)	JEDNOSTRANI	26	34	4.93	43	4.92	54	4.87	26	4.85	33	4.86	42	4.94	49	4.88
MASTER SON-T PIA PLUS 100W (10.7 klm)	JEDNOSTRANI	27	28	4.84	36	4.97	45	4.87	21	4.61	27	4.71	35	4.95	41	4.92
MASTER SON-T PIA PLUS 150W (17.5 klm)	CENTRALNI	40	13	4.50	17	4.77	22	5.00	10	4.51	13	4.72	16	4.46	19	4.55

Tabela 85. ELEKTRONSKI BALAST - MONOFAZNI SISTEM

 $\cos \varphi = 0.95$

TIP IZVORA	RASPORED STUBOVA	RASPON L1 [m]	BROJ STUBOVA n I PAD NAPONA ΔU [%]																	
			Cu [mm2]									Al [mm2]								
			10			16			25			10			16		25		35	
			n	Δu [%]		n	Δu [%]		n	Δu [%]		n	Δu [%]		n	Δu [%]		n	Δu [%]	
MASTER SON-T PIA PLUS 70W (6.6 klm)	JEDNOSTRANI	29	14	9.78	16	9.04	19	9.42	11	8.23	13	8.28	16	9.50	18	9.75				
MASTER SON-T PIA PLUS 100W (10.7 klm)	JEDNOSTRANI	24	13	9.38	15	8.89	18	9.53	11	9.71	13	9.78	15	9.34	17	9.79				
MASTER SON-T PIA PLUS 150W (17.5 klm)	JEDNOSTRANI	36	10	9.65	11	7.96	14	9.97	8	8.67	9	7.54	11	8.36	13	9.78				

Tabela 86. ELEKTROMAGNETSKI BALAST - MONOFAZNI SISTEM

 $\cos \varphi = 0.85$

TIP IZVORA	RASPORED STUBOVA	RASPON L1 [m]	BROJ STUBOVA n I PAD NAPONA ΔU [%]													
			Cu [mm2]						Al [mm2]							
			10		16		25		10		16		25		35	
			n	Δu [%]	n	Δu [%]	n	Δu [%]	n	Δu [%]	n	Δu [%]	n	Δu [%]	n	Δu [%]
MASTER SON-T PIA PLUS 70W (6.6 klm)	JEDNOSTRANI	29	10	3.96	12	4.19	14	4.16	9	4.87	10	4.12	12	4.39	14	5.00
MASTER SON-T PIA PLUS 100W (10.7 klm)	JEDNOSTRANI	24	10	4.59	12	4.85	14	4.82	8	4.10	10	4.77	11	3.99	13	4.70
MASTER SON-T PIA PLUS 150W (17.5 klm)	JEDNOSTRANI	36	7	3.80	9	4.76	10	4.10	6	4.15	7	3.95	8	3.63	10	4.93

4.3. EFIKASNOST ZAŠTITE OD INDIREKTNOG DODIRA KAO UTICAJNI FAKTOR

Na osnovu maksimalno dozvoljenog broja stubova na jednoj izvodnoj deonici ($n_{\max}$), određenog prema kriterijumu maksimalno dozvoljenog pada napona $\Delta u_{\max}$, određuje se maksimalna vrednost fazne struje (I_f) napojne deonice (na izlazu iz razvodnog ormana). Ne postoji jedinstvena formula za izračunavanje ove struje (poglavlje 1 studije [41]), pa je priložena tabela 87 sa formulama koje treba koristiti u zavisnosti od vrednosti broja stubova n (misli se pre svega na to da li je broj stubova takav da instalacija bude simetrično opterećena ili ne – npr. ako se ima 46 stubova na deonici za trofazni sistem napajanja, primeniće se formule za $3k+1$ ($46=3 \times 15+1$)).

Tabela 87. Formule za izračunavanje maksimalne vrednosti fazne struje

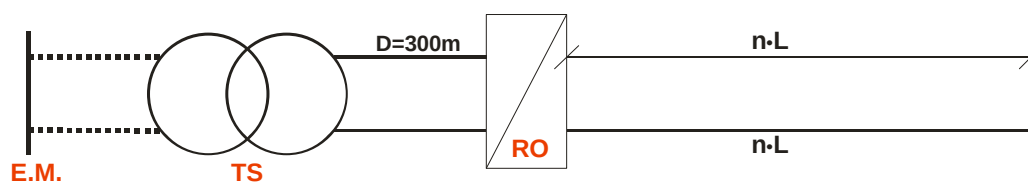
TROFAZNI SISTEM		DVOFAZNI SISTEM		MONOFAZNI SISTEM	
JEDNOSTRANI RASPORED		JEDNOSTRANI RASPORED		JEDNOSTRANI RASPORED	
$n = 3k$	$I_f = n/3 \times I_{f1}$	$n = 2k$	$I_f = n/2 \times I_{f1}$	$n = k$	$I_f = n \times I_{f1}$
$n = 3k+1$	$I_f = (n+2)/3 \times I_{f1}$	$n = 2k+1$	$I_f = (n+1)/2 \times I_{f1}$		
$n = 3k+2$	$I_f = (n+1)/3 \times I_{f1}$				
CENTRALNI RASPORED		CENTRALNI RASPORED		CENTRALNI RASPORED	
$n = 3k$	$I_f = 2n/3 \times I_{f1}$	$n = 2k$	$I_f = n \times I_{f1}$	$n = k$	$I_f = 2n \times I_{f1}$
$n = 3k+1$	$I_f = (2n+1)/3 \times I_{f1}$				
$n = 3k+2$	$I_f = (2n+2)/3 \times I_{f1}$				

Struja jedne svetiljke, sa sijalicom snage P_{1s} i balastom snage P_b , određena je formulom [41]:

$$I_{f1} = \frac{P_{1s} + P_b}{U_f \cdot \cos \varphi} \quad (15)$$

($\cos \varphi$ je faktor snage svetiljke (u slučaju elektromagnetskog balasta sa ugrađenim kondenzatorom)).

Na osnovu maksimalne vrednosti fazne struje vrši se izbor nominalne struje uložka osigurača (I_{os}), koja se poredi sa maksimalno dozvoljenim strujnim opterećenjem kabla (I_{td}), određenim uz uvažavanje uslova zajedničkog vođenja kablova. Određuje se impedansa petlje kvara, prikazana na slici 70, i proverava da li instalacija zadovoljava uslove TN sistema zaštite (nulovanja).



Slika 70. Petlja kvara [41]

Impedansa petlje kvara je određena izrazom [32]:

$$\underline{Z}_k = \underline{Z}_{ID} + \underline{Z}_{NK} + \underline{Z}_T + \underline{Z}_M, \quad (16)$$

u kome su:

$\underline{Z}_{ID}$ – impedansa izvodne (kablovske) deonice od RO do mesta kvara,

$\underline{Z}_{NK}$ – impedansa napojnog kabla od TS do RO,

$\underline{Z}_T$ – impedansa energetskog transformatora, i

Z_M – impedansa energetske mreže.

Impedansa izvodne deonice se određuje pomoću izraza [41]:

$$\boxed{Z_{ID} = 2 \cdot n \cdot L \cdot (r_{ID} + jx_{ID})} \quad (17)$$

(n je broj stubova, L je dužina kabla, odnosno rastojanje između susednih stubova uvećano za 2m, a r_{ID} i x_{ID} su podužna aktivna i induktivna otpornost izvodne deonice).

Impedansa napojnog kabla se određuje korišćenjem izraza [41]:

$$\boxed{Z_{NK} = 2 \cdot D \cdot (r_{NK} + jx_{NK})} \quad (18)$$

(D je dužina napojnog voda, a r_{NK} i x_{NK} su podužna aktivna i induktivna otpornost napojnog kabla).

Za određivanje impedanse napojnog kabla bira se najmanji presek napojnog kabla koji je zastupljen u instalacijama javnog osvetljenja. Svi veći preseki kabla su manje kritični sa stanovišta efikasnosti TN sistema zaštite, jer imaju manje impedanse. Kabl najmanjeg preseka je kabl tipa **PP00-AY 4x50 mm²**, čije podužne otpornosti imaju sledeće vrednosti:

$$r_{NK} = 0.628 \Omega/km \quad i$$

$$x_{NK} = 0.083 \Omega/km.$$

Dužina kabla između TS i RO obično nije veća od **D=300m**, pa će se proračuni vršiti sa ovom vrednošću kao kritičnom.

Ukupna impedansa od TS do mesta kvara data je izrazom [41]:

$$\boxed{Z_1 = \sqrt{(R_{ID} + R_{NK})^2 + (X_{ID} + X_{NK})^2}} \quad (19)$$

Prilikom izračunavanja impedanse petlje kratkog spoja treba uzeti u obzir i:

- impedansu energetske mreže od mesta proizvodnje električne energije do transformacije SN/NN ($Z_M < 0.001 \Omega$), i
- impedansu energetskog transformatora (ona je najveća (kritična) za transformator snage **250kVA** (najmanja snaga transformatora koji se koriste u javnom osvetljenju), kada iznosi $Z_T = 0.024 \Omega$).

Iako su u pitanju kompleksne veličine, kod kojih vrednost impedanse zavisi i od aktivne i od reaktivne komponente, zbog veoma male vrednosti zbira impedansi $Z_T + Z_M = 0.025 \Omega$, ukupna impedansa petlje kvara može da se izračuna kao prost zbir $Z_1 + Z_T + Z_M$.

Dakle, ukupna impedansa petlje kvara data je približnim izrazom [41]:

$$\boxed{Z_k = Z_1 + 0.025} \quad (20)$$

Na osnovu vrednosti impedanse petlje kvara izračunava se struja koja se uspostavlja u petlji kvara

(sa U_f je označen fazni napon) [41]:

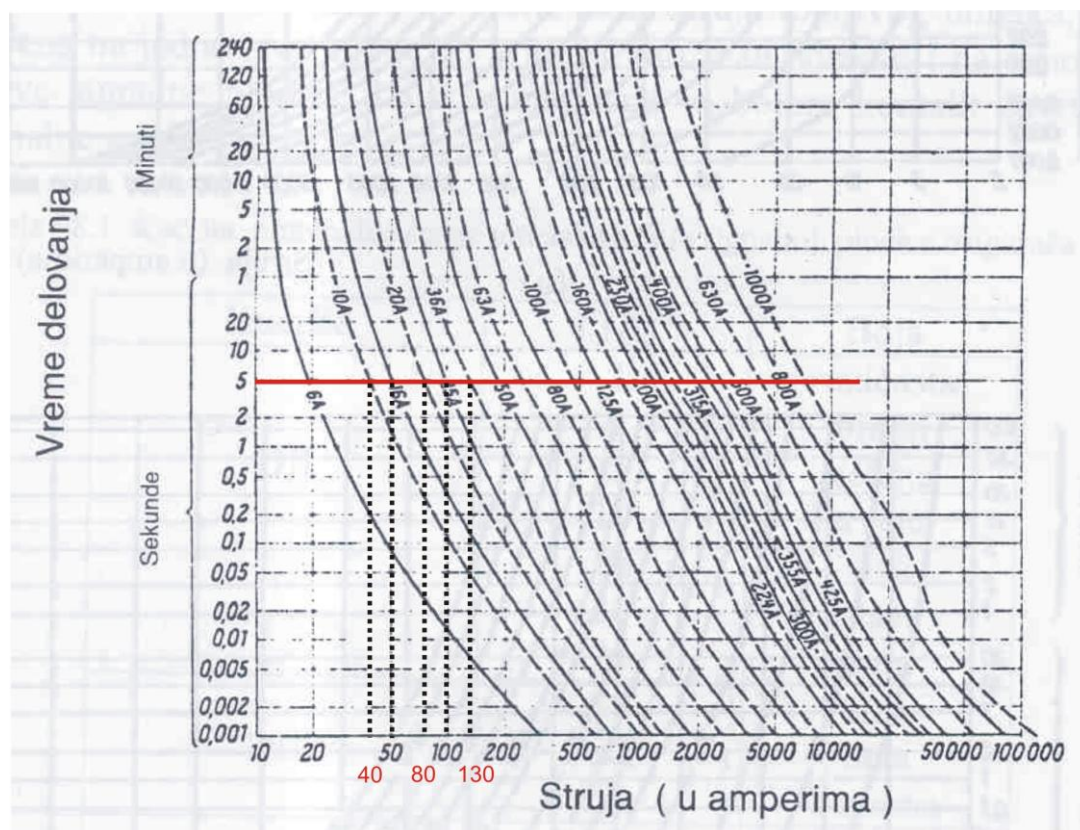
$$I_k = \frac{U_f}{Z_k} \quad (21)$$

Uslovi efikasnog delovanja zaštite u TN sistemu definisani su standardom JUS N.B2.741. Smatra se da je u TN sistemu zaštita od *jednopolnog kratkog spoja* efikasna ako je obezbeđeno da se kvar automatski eliminiše u okviru vremenskog intervala propisanog ovim standardom.

Vreme isključenja do 5s dozvoljava se za napojne vodove, u koje spadaju i strujna kola javnog osvetljenja. Za provodnik manjeg preseka koji povezuje ploču sa osiguračem u stubu (6A) i svetiljku maksimalno dozvoljeno vreme isključenja iznosi 0.4s.

Kako je nominalna struja osigurača u stubu najmanje 2 stepena niža od nominalne struje **visokoučinskih osigurača** ili **automatskih prekidača** koji štite izvodnu deonicu, može da se zaključi da će manji osigurač, koji se nalazi u stubu i štiti instalaciju svetiljke, sigurno zadovoljiti u pogledu efikasnosti zaštite ukoliko zadovolji osigurač smešten u razvodnom ormanu. Zapravo, struja u petlji kvara ne razlikuje se mnogo ako se, umesto ispred priključne ploče u stubu, kvar desi posle priključne ploče na kابلu manjeg preseka. Pošto je osigurač u stubu manje nominalne struje, on će mnogo brže reagovati nego osigurač veće nominalne struje za istu (sličnu) struju kratkog spoja.

Na osnovu vrednosti prethodno određene nominalne struje osigurača **I_{os}**, sa dijagrama na slici 71 za maksimalno dozvoljeno vreme reagovanja (isključenja) osigurača od **5s** može da se odredi struja **I_a**, koja predstavlja najmanju struju koja obezbeđuje da se izvodna deonica u kojoj je nastao kvar isključi unutar 5s.



Slika 71. Krive strujnog opterećenja topljivih umetaka osigurača tipa NV [41]

Na apscisi dijagrama sa slike 71 naznačene su vrednosti struja **I_a** za očekivane nominalne struje umetaka NV osigurača od 10, 16, 20, 25 i 35A.

Na kraju se proverava da li je:

$$I_k \geq I_a$$

Ukoliko je ovaj uslov zadovoljen, zaštita je efikasna.

Provera efikasnosti zaštite izvršiće se i za slučaj korišćenja **automatskih prekidača** sa karakteristikom okidanja B. Automatski prekidači sa ovom karakteristikom smatraju se standardnim i koriste se za zaštitu strujnih kola u stambenim, poslovnim i javnim objektima. Njihova primena ima smisla naročito za specifične tipove spoljnog osvetljenja, kada uslovi zahtevaju korišćenje kablova manjeg preseka.

Za karakteristiku okidanja B je **I_a=I_Δ=3I_n** (**I_n** je nominalna struja automatskog prekidača (u konkretnom slučaju 16, 20, 25 ili 32A, a **I_a(I_Δ)** predstavlja minimalnu struju koja obezbeđuje njegovo reagovanje, koje se svakako realizuje unutar 5s).

Proverava se da li je:

$$I_k \geq I_a$$

Ukoliko je ovaj uslov zadovoljen, zaštita je efikasna.

Efikasnost zaštite se ispituje za svaku od 9 izabranih saobraćajnica, kao i za sve preseke kablova i faktore snage.

Rezultati proračuna su dati tabelarno (tabele 88-99). Tabele sadrže broj stubova **n**, maksimalnu faznu struju **I_f**, odnos maksimalne fazne i trajno dozvoljene struje kabla **I_f/I_{td}**, nominalnu struju osigurača (automatskog prekidača) **I_{os}**, struju kvara **I_k**, minimalnu struju reagovanja (**I_a**) za osigurače tipa N, odnosno minimalnu struju reagovanja (**I_Δ**) za automatske prekidače.

Tabela 88. ELEKTROMAGNETSKI BALAST -provera efikasnosti TN sistema zaštite za **Cu** provodnike - TROFAZNI SISTEM

SVETILJKA	TIP IZVORA	RASPORED STUBOVA	RASPOD L ₁ [m]	PROVERA EFIKASNOSTI TN SISTEMA ZAŠTITE ZA cosφ=0.85 - TROFAZNI SISTEM																				
				BAKARNI PROVODNICI																				
				10 mm²						16 mm²						25 mm²								
				n	If [A]	If/Itid [%]	Ios [A]	Ik [A]	Ia [A]	I4 [A]	n	If [A]	If/Itid [%]	Ios [A]	Ik [A]	Ia [A]	I4 [A]	n	If [A]	If/Itid [%]	Ios [A]	Ik [A]	Ia [A]	I4 [A]
NANO 1	MASTER SON-T PIA PLUS 70W	JEDNOSTRANI	23	60	25.20	48.46	35	39.32	130	105	76	31.92	47.64	35	48.34	130	105	96	40.32	46.88	50	59.92	200	150
IPSO	MASTER SON-T PIA PLUS 100W	JEDNOSTRANI	27	47	27.26	52.42	35	42.97	130	105	59	34.22	51.07	35	53.17	130	105	74	42.92	49.91	50	65.08	200	150
ONYX 2	MASTER SON-T PIA PLUS 150W	CENTRALNI	40	22	18.92	36.38	20	61.14	80	60	28	24.08	35.94	35	74.14	130	105	36	30.96	36.00	35	88.06	130	105

Tabela 89. ELEKTROMAGNETSKI BALAST - provera efikasnosti TN sistema zaštite za **Al** provodnike - TROFAZNI SISTEM

SVETILJKA	TIP IZVORA	RASPORED STUBOVA	RASPORED L ₁ [m]	PROVERA EFIKASNOSTI TN SISTEMA ZAŠTITE ZA cosφ=0.85 - TROFAZNI SISTEM																											
				ALUMINIJUMSKI PROVODNICI																											
				10 mm ²						16 mm ²						25 mm ²						35 mm ²									
				n	If [A]	If/Itid [%]	Ios [A]	Ik [A]	Ia [A]	I4 [A]	n	If [A]	If/Itid [%]	Ios [A]	Ik [A]	Ia [A]	I4 [A]	n	If [A]	If/Itid [%]	Ios [A]	Ik [A]	Ia [A]	I4 [A]	n	If [A]	If/Itid [%]	Ios [A]	Ik [A]	Ia [A]	I4 [A]
NANO 1	MASTER SON-T PIA PLUS 70W	JEDNOSTRANI	23	46	19.32	48.30	20	31.44	100	60	59	24.78	47.65	25	38.37	100	75	74	31.08	47.09	35	47.29	130	105	87	36.54	45.68	50	54.24	200	150
IPSO	MASTER SON-T PIA PLUS 100W	JEDNOSTRANI	27	36	20.88	52.20	25	34.44	100	75	46	26.68	51.31	35	42.12	130	105	58	33.64	50.97	35	51.57	130	105	88	39.44	49.30	50	59.23	200	150
ONYX 2	MASTER SON-T PIA PLUS 150W	CENTRALNI	40	17	14.62	36.55	16	48.96	50	48	22	18.92	36.38	20	58.84	80	60	27	23.22	35.18	25	73.22	100	75	32	27.52	34.40	35	62.79	130	105

Tabela 90. ELEKTRONSKI BALAST - provera efikasnosti TN sistema zaštite za **Cu** provodnike - TROFAZNI SISTEM

SVETILJKA	TIP IZVORA	RASPORED STUBOVA	RASPORED L ₁ [m]	PROVERA EFIKASNOSTI TN SISTEMA ZAŠTITE ZA cosφ=0.95 - TROFAZNI SISTEM																				
				BAKARNI PROVODNICI																				
				10 mm ²						16 mm ²						25 mm ²								
				n	If [A]	If/Itid [%]	Ios [A]	Ik [A]	Ia [A]	I4 [A]	n	If [A]	If/Itid [%]	Ios [A]	Ik [A]	Ia [A]	I4 [A]	n	If [A]	If/Itid [%]	Ios [A]	Ik [A]	Ia [A]	I4 [A]
NANO 1	MASTER SON-T PIA PLUS 70W	JEDNOSTRANI	23	89	32.93	63.33	35	27.13	130	105	112	41.44	61.85	50	33.74	200	150	141	52.17	60.86	63	41.52	250	189
IPSO	MASTER SON-T PIA PLUS 100W	JEDNOSTRANI	27	68	35.36	66.00	50	30.42	200	150	87	45.24	67.52	50	37.20	200	150	109	56.68	65.91	63	45.91	250	169
ONYX 2	MASTER SON-T PIA PLUS 150W	CENTRALNI	40	33	25.08	48.23	35	42.31	130	105	42	31.92	47.64	35	51.72	130	105	74	56.24	55.40	63	46.63	250	169

Tabela 91. ELEKTRONSKI BALAST - provera efikasnosti TN sistema zaštite za **Al** provodnike - TROFAZNI SISTEM

SVETILJKA	TIP IZVORA	RASPORED STUBOVA	RASPORED L ₁ [m]	PROVERA EFIKASNOSTI TN SISTEMA ZAŠTITE ZA cosφ=0.95 - TROFAZNI SISTEM																											
				ALUMINIJUMSKI PROVODNICI																											
				10 mm ²						16 mm ²						25 mm ²						35 mm ²									
				n	If [A]	If/Itid [%]	Ios [A]	Ik [A]	Ia [A]	n	If [A]	If/Itid [%]	Ios [A]	Ik [A]	Ia [A]	n	If [A]	If/Itid [%]	Ios [A]	Ik [A]	Ia [A]	n	If [A]	If/Itid [%]	Ios [A]	Ik [A]	Ia [A]				
NANO 1	MASTER SON-T PIA PLUS 70W	JEDNOSTRANI	23	68	25.16	62.90	35	21.65	130	105	87	32.19	61.90	35	26.61	130	105	109	40.33	61.11	50	33.00	200	150	128	47.36	59.20	50	38.05	200	150
IPSO	MASTER SON-T PIA PLUS 100W	JEDNOSTRANI	27	53	27.56	68.90	35	23.86	130	105	67	34.84	67.00	35	29.62	130	105	85	44.20	66.97	50	36.26	200	150	99	51.48	64.35	63	42.08	250	189
ONYX 2	MASTER SON-T PIA PLUS 160W	CENTRALNI	40	25	19.00	47.50	20	34.25	80	60	32	24.32	46.77	25	41.83	100	75	41	31.16	47.21	35	50.48	130	105	48	36.48	46.60	50	58.07	200	150

Tabela 96. ELEKTROMAGNETSKI BALAST - provera efikasnosti TN sistema zaštite za **Cu** provodnike - MONOFAZNI SISTEM

SVETILJKA	TIP IZVORA	RASPORED STUBOVA	RASPON L ₁ [m]	PROVERA EFIKASNOSTI TN SISTEMA ZAŠTITE ZA $\cos\phi=0.85$ - MONOFAZNI SISTEM																				
				BAKARNI PROVODNICI																				
				10 mm ²						16 mm ²						25 mm ²								
				n	If [A]	If/Itid [%]	los [A]	Ik [A]	Ia [A]	I4 [A]	n	If [A]	If/Itid [%]	los [A]	Ik [A]	Ia [A]	I4 [A]	n	If [A]	If/Itid [%]	los [A]	Ik [A]	Ia [A]	I4 [A]
NANO 1	MASTER SON-T PIA PLUS 70W	JEDNOSTRANI	29	10	4.20	8.08	10	149.76	40	30	12	5.04	7.52	10	182.08	40	30	14	5.88	6.84	10	220.37	40	30
OPALO 1	MASTER SON-T PIA PLUS 100W	JEDNOSTRANI	24	10	5.80	11.15	16	169.79	50	48	12	6.96	10.39	10	204.25	40	30	14	8.12	9.44	10	244.15	40	30
ONYX 2	MASTER SON-T PIA PLUS 150W	JEDNOSTRANI	36	7	6.02	11.58	16	167.10	50	48	9	7.74	11.55	10	192.53	40	30	10	8.60	10.00	10	238.28	40	30

Tabela 97. ELEKTROMAGNETSKI BALAST - provera efikasnosti TN sistema zaštite za **Al** provodnike - MONOFAZNI SISTEM

SVETILJKA	TIP IZVORA	RASPORED STUBOVA	RASPON L ₁ [m]	PROVERA EFIKASNOSTI TN SISTEMA ZAŠTITE ZA <i>cosφ=0.85</i> - MONOFAZNI SISTEM																				
				ALUMINIUMSKI PROVODNICI																				
				10 mm²						16 mm²						25 mm²						35 mm²		
				n	If [A]	If/Itid [%]	Ios [A]	Ik [A]	Ia [A]	I4 [A]	n	If [A]	If/Itid [%]	Ios [A]	Ik [A]	Ia [A]	I4 [A]	n	If [A]	If/Itid [%]	Ios [A]	Ik [A]	Ia [A]	I4 [A]
NANO 1		JEDNOSTRANI	29	9	3.78	9.45	10	110.24	40	30	10	4.20	8.08	10	145.10	40	30	12	5.04	7.64	10	175.91	40	30
OPALO 1		JEDNOSTRANI	24	8	4.64	11.60	10	138.53	40	30	10	5.80	11.15	10	164.76	40	30	11	6.38	9.67	10	208.96	40	30
ONYX 2		JEDNOSTRANI	36	6	5.16	12.90	10	129.19	40	30	7	6.02	11.58	10	162.12	40	30	8	6.88	10.42	10	201.06	40	30

Tabela 98. ELEKTRONSKI BALAST - provera efikasnosti TN sistema zaštite za **Cu** provodnike - MONOFAZNI SISTEM

SVETILJKA	TIP IZVORA	RASPORED STUBOVA	RASPON L ₁ [m]	PROVERA EFIKASNOSTI TN SISTEMA ZAŠTITE ZA cosφ=0.95 - MONOFAZNI SISTEM																									
				BAKARNI PROVODNICI																									
				10 mm²												16 mm²												25 mm²	
				n	If [A]	If/Itid [%]	los [A]	Ik [A]	Ia [A]	I4 [A]	n	If [A]	If/Itid [%]	los [A]	Ik [A]	Ia [A]	I4 [A]	n	If [A]	If/Itid [%]	los [A]	Ik [A]	Ia [A]	I4 [A]					
NANO 1	MASTER SON-T PIA PLUS 70W	JEDNOSTRANI	29	14	5.18	9.95	10	115.86	40	30	16	5.92	8.84	10	148.71	40	30	19	7.03	8.17	10	181.26	40	30					
OPALO 1	MASTER SON-T PIA PLUS 100W	JEDNOSTRANI	24	13	6.75	13.00	10	140.48	40	30	15	7.80	11.64	16	176.33	50	48	18	9.36	10.88	16	210.41	50	48					
ONYX 2	MASTER SON-T PIA PLUS 150W	JEDNOSTRANI	36	10	7.60	14.62	10	128.53	40	30	11	8.36	12.48	16	168.08	50	48	14	10.64	12.37	16	193.91	50	48					

Tabela 99. ELEKTRONSKI BALAST - provera efikasnosti TN sistema zaštite za **Al** provodnike - MONOFAZNI SISTEM

SVETILJKA	TIP IZVORA	RASPORED STUBOVA	RASPON L _c [m]	PROVERA EFIKASNOSTI TN SISTEMA ZAŠTITE ZA cosφ=0.95 - MONOFAZNI SISTEM																											
				ALUMINIUMSKI PROVODNICI																											
				10 mm²						16 mm²						25 mm²						35 mm²									
				n	If [A]	If/Itid [%]	Ios [A]	Ik [A]	Ia [A]	I4 [A]	n	If [A]	If/Itid [%]	Ios [A]	Ik [A]	Ia [A]	I4 [A]	n	If [A]	If/Itid [%]	Ios [A]	Ik [A]	Ia [A]	I4 [A]	n	If [A]	If/Itid [%]	Ios [A]	Ik [A]	Ia [A]	I4 [A]
NANO 1		JEDNOSTRANI	29	11	4.07	10.18	16	53.55	50	48	13	4.81	9.25	10	118.75	40	30	16	5.92	8.97	10	143.24	40	30	13	6.65	8.33	10	164.55	40	30
OPALO 1		JEDNOSTRANI	24	11	5.72	14.30	16	108.06	50	48	13	6.76	13.00	10	136.01	40	30	15	7.80	11.82	16	170.27	50	48	17	8.84	11.05	16	193.22	40	48
ONYX 2		JEDNOSTRANI	36	8	6.08	15.20	20	102.84	80	60	9	6.84	13.15	10	134.81	40	30	11	8.36	12.67	16	162.13	50	48	13	9.83	12.35	16	179.43	50	48

Tabele 88-95, koje se odnose na trofazni i dvofazni sistem napajanja, pokazuju da za veliki broj analiziranih situacija (gotovo u svim slučajevima) nulovanje ne predstavlja efikasnu zaštitu. Polja koja su u tabelama označena crvenom bojom odnose se na slučajeve kod kojih zaštita nije efikasna, tj. kod kojih su struje I_a ili I_4 veće od struje kvara I_k . U isto vreme, na osnovu tabela 96-99 može se zaključiti da je zaštita efikasna u svim analiziranim slučajevima monofaznog sistema napajanja.

Tabele 88-99 takođe pokazuju da odnosi maksimalne fazne i maksimalne trajno dozvoljene struje kabla (**If/It_d**) imaju takve vrednosti da uticaj zajedničkog vođenja kablova neće dovesti do nedozvoljenih termičkih opterećenja.

Ukoliko se rezultati dobijeni predmetnom analizom uporede sa rezultatima jedne druge slične analize [41], može se izvesti interesantan zaključak. U analizi [41] tretirani su HID izvori veće snage (150, 250 i 400W), pri čemu je zaključeno da zaštita nulovanjem u najvećem broju slučajeva nije bila efikasna za izvore snage 150W. Treba napomenuti da se u tehnici osvetljenja HID izvori snage 150W tretiraju kao izvori manje snage, tj. izvori na granici između izvora manjih i većih snaga. Za izvore snage 250 i 400W zaštita je uglavnom bila efikasna (tamo gde to nije bio slučaj, bilo je dovoljno neznatno smanjiti dužinu trase (broj stubova) da bi zaštita postala efikasna). Može se zaključiti da je lakše ispuniti oba uslova (pad napona i efikasnost TN sistema zaštite) u slučaju HID izvora većih snaga (250 i 400W), nego u slučaju HID izvora manjih snaga (70, 100 i 150W) kojima se bavi predmetna analiza!

U konkretnom slučaju, neophodno je smanjivati dužinu napajane trase (broj stubova n) do onog trenutka kada zaštita postane efikasna, tj. kada struja kvara I_k postane veća od struje I_a ili I_4 . Tabele 100-107 sadrže maksimalne vrednosti novih (redukovanih) dužina napajane trase za koje su oba uslova ispunjena (u tabelama obojene narandžastom bojom). Napominje se da su priloženi rezultati samo za trofazni i dvofazni sistem napajanja, jer su u slučaju monofaznog sistema napajanja oba uslova bila ispunjena i bez naknadnog skraćivanja deonice (tabele 96-99).

Najvažniji zaključak koji proizlazi iz sprovedene analize:

Pad napona nije jedini ograničavajući faktor prilikom dimenzionisanja instalacije javnog osvetljenja, već je to i efikasnost TN sistema zaštite!

Tabela 100. ELEKTROMAGNETSKI BALAST - zadovoljeni svi uslovi za **Cu** provodnike - TROFAZNI SISTEM

SVETILJKA	TIP IZVORA	RASPORED STUBOVA	RASPON L ₁ [m]	PROVERA EFIKASNOSTI TN SISTEMA ZAŠTITE ZA cosφ=0.85 - TROFAZNI SISTEM																							
				BAKARNI PROVODNICI																							
				10 mm²								16 mm²								25 mm²							
				n	If [A]	If/ItId [%]	Ios [A]	Ik [A]	Ia [A]	I4 [A]	n	If [A]	If/ItId [%]	Ios [A]	Ik [A]	Ia [A]	I4 [A]	n	If [A]	If/ItId [%]	Ios [A]	Ik [A]	Ia [A]	I4 [A]			
NANO 1	MASTER SON-T PIA PLUS 70W	JEDNOSTRANI	23	38	15.96	30.69	16	59.65	50	48	43	13.06	26.96	20	80.10	80	60	51	21.42	24.91	25	101.44	100	75			
IPSO	MASTER SON-T PIA PLUS 100W	JEDNOSTRANI	27	27	15.66	30.12	16	70.76	50	48	34	19.72	29.43	20	86.21	80	60	43	24.94	29.00	25	103.30	100	75			
ONYX 2	MASTER SON-T PIA PLUS 150W	CENTRALNI	40	18	15.48	29.77	16	72.96	50	48	23	19.78	29.52	20	87.71	80	60	29	24.94	29.00	25	105.29	100	75			

Tabela 101. ELEKTROMAGNETSKI BALAST - zadovoljeni svi uslovi za **Al** provodnike - TROFAZNI SISTEM

SVETILJKA	TIP IZVORA	RASPORED STUBOVA	RASPON L ₁ [m]	PROVERA EFIKASNOSTI TN SISTEMA ZAŠTITE ZA cosφ=0.85 - TROFAZNI SISTEM																											
				ALUMINIJUMSKI PROVODNICI																											
				10 mm²						16 mm²						25 mm²						35 mm²									
				n	If [A]	If/ItId [%]	Ios [A]	Ik [A]	Ia [A]	I4 [A]	n	If [A]	If/ItId [%]	Ios [A]	Ik [A]	Ia [A]	I4 [A]	n	If [A]	If/ItId [%]	Ios [A]	Ik [A]	Ia [A]	I4 [A]	n	If [A]	If/ItId [%]	Ios [A]	Ik [A]	Ia [A]	I4 [A]
NANO 1	MASTER SON-T PIA PLUS 70W	JEDNOSTRANI	23	27	11.34	28.35	16	51.53	50	48	38	15.96	30.69	16	57.40	50	48	40	16.80	25.45	20	81.59	80	60	47	19.74	24.68	20	92.71	80	60
IPSO	MASTER SON-T PIA PLUS 100W	JEDNOSTRANI	27	24	13.92	34.80	16	50.11	50	48	27	15.66	30.12	16	68.14	50	48	34	19.72	29.88	20	82.58	80	60	36	20.88	26.10	25	102.21	100	75
ONYX 2	MASTER SON-T PIA PLUS 150W	CENTRALNI	40	16	13.76	34.40	16	51.74	50	48	18	15.48	29.77	16	70.27	50	48	23	19.78	29.97	20	84.03	80	60	25	21.50	26.88	25	101.73	100	75

Tabela 102. ELEKTRONSKI BALAST - zadovoljeni svi uslovi za **Cu** provodnike - TROFAZNI SISTEM

SVETILJKA	TIP IZVORA	RASPORED STUBOVA	RASPON L ₁ [m]	PROVERA EFIKASNOSTI TN SISTEMA ZAŠTITE ZA cosφ=0.95 - TROFAZNI SISTEM																							
				BAKARNI PROVODNICI																							
				10 mm²								16 mm²								25 mm²							
				n	If [A]	If/ItId [%]	Ios [A]	Ik [A]	Ia [A]	I4 [A]	n	If [A]	If/ItId [%]	Ios [A]	Ik [A]	Ia [A]	I4 [A]	n	If [A]	If/ItId [%]	Ios [A]	Ik [A]	Ia [A]	I4 [A]			
NANO 1	MASTER SON-T PIA PLUS 70W	JEDNOSTRANI	23	43	15.91	30.60	16	53.38	50	48	43	15.91	23.75	16	80.10	50	48	54	19.98	23.23	20	96.79	80	60			
IPSO	MASTER SON-T PIA PLUS 100W	JEDNOSTRANI	27	30	15.60	30.00	16	64.50	50	48	37	19.24	28.72	20	80.23	80	60	44	22.88	26.60	25	101.38	100	75			
ONYX 2	MASTER SON-T PIA PLUS 150W	CENTRALNI	40	21	15.96	30.69	16	63.72	50	48	25	19.00	28.36	20	81.73	80	60	30	22.80	26.51	25	102.43	100	75			

Tabela 103. ELEKTRONSKI BALAST - zadovoljeni svi uslovi za **Al** provodnike - TROFAZNI SISTEM

SVETILJKA	TIP IZVORA	RASPORED STUBOVA	RASPON L ₁ [m]	PROVERA EFIKASNOSTI TN SISTEMA ZAŠTITE ZA cosφ=0.95 - TROFAZNI SISTEM																											
				ALUMINIJUMSKI PROVODNICI																											
				10 mm²						16 mm²						25 mm²						35 mm²									
				n	If [A]	I/ItId [%]	Ios [A]	Ik [A]	Ia [A]	I4 [A]	n	If [A]	I/ItId [%]	Ios [A]	Ik [A]	Ia [A]	I4 [A]	n	If [A]	I/ItId [%]	Ios [A]	Ik [A]	Ia [A]	I4 [A]	n	If [A]	I/ItId [%]	Ios [A]	Ik [A]	Ia [A]	I4 [A]
NANO 1	MASTER SON-T PIA PLUS 70W	JEDNOSTRANI	23	27	9.99	24.98	10	51.53	40	30	43	15.91	30.60	16	51.34	50	48	43	15.91	24.11	16	76.68	50	48	54	19.98	24.98	20	82.47	80	60
IPSO	MASTER SON-T PIA PLUS 100W	JEDNOSTRANI	27	24	12.48	31.20	16	50.11	50	48	30	15.50	30.00	16	62.09	50	48	35	18.20	27.58	20	80.56	80	60	33	19.76	24.70	20	97.77	80	60
ONYX 2	MASTER SON-T PIA PLUS 150W	CENTRALNI	40	15	12.16	30.40	16	51.74	50	48	21	15.96	30.69	16	61.34	50	48	24	18.24	27.64	20	81.04	80	60	23	19.76	24.70	20	98.51	80	60

Tabela 104. ELEKTROMAGNETSKI BALAST - zadovoljeni svi uslovi za **Cu** provodnike - DVOFAZNI SISTEM

SVETILJKA	TIP IZVORA	RASPRED STUBOVA	RASPON L [m]	PROVERA EFIKASNOSTI TN SISTEMA ZAŠTITE ZA $\cos\varphi=0.85$ - DVOFAZNI SISTEM																																			
				BAKARNI PROVODNICI																																			
				10 mm²												16 mm²												25 mm²											
				n	If [A]	If/Id [%]	Ios [A]	Ik [A]	Ia [A]	I4 [A]	n	If [A]	If/Id [%]	Ios [A]	Ik [A]	Ia [A]	I4 [A]	n	If [A]	If/Id [%]	Ios [A]	Ik [A]	Ia [A]	I4 [A]															
NANO 1	MASTER SON-T PIA PLUS 70W	JEDNOSTRANI	26	34	14.28	27.46	16	59.55	50	48	33	15.96	23.82	16	80.84	50	48	47	19.74	22.95	20	98.92	80	60															
ARAMIS	MASTER SON-T PIA PLUS 100W	JEDNOSTRANI	27	27	15.66	30.12	16	70.77	50	48	34	19.72	29.43	20	86.25	80	60	43	24.94	29.00	25	103.38	100	75															
ONYX 2	MASTER SON-T PIA PLUS 150W	CENTRALNI	40	13	11.18	21.50	16	96.19	50	48	17	14.62	21.82	16	112.47	50	48	22	18.92	22.00	20	131.01	80	60															

Tabela 105. ELEKTROMAGNETSKI BALAST - zadovoljeni svi uslovi za **Al** provodnike - DVOFAZNI SISTEM

SVETILJKA	TIP IZVORA	RASPRED STUBOVA	RASPON L ₁ [m]	PROVERA EFIKASNOSTI TN SISTEMA ZAŠTITE ZA cosφ=0.85 - DVOFAZNI SISTEM																											
				ALUMINIJUMSKI PROVODNICI																											
				10 mm²						16 mm²						25 mm²						35 mm²									
				n	If [A]	If/Id [%]	Ios [A]	Ik [A]	Ia [A]	I4 [A]	n	If [A]	If/Id [%]	Ios [A]	Ik [A]	Ia [A]	I4 [A]	n	If [A]	If/Id [%]	Ios [A]	Ik [A]	Ia [A]	I4 [A]	n	If [A]	If/Id [%]	Ios [A]	Ik [A]	Ia [A]	I4 [A]
NANO 1	MASTER SON-T PIA PLUS 70W	JEDNOSTRANI	26	24	10.08	25.20	16	51.74	50	48	33	13.86	26.65	16	58.65	50	48	35	15.06	24.18	16	77.39	50	48	47	19.74	24.68	20	84.33	80	60
ARAMIS	MASTER SON-T PIA PLUS 100W	JEDNOSTRANI	27	21	12.18	30.45	16	56.55	50	48	27	15.66	30.12	16	68.16	50	48	34	19.72	29.88	20	82.61	80	60	37	21.46	26.83	25	100.00	100	75
ONYX 2	MASTER SON-T PIA PLUS 150W	CENTRALNI	40	10	8.60	21.50	10	78.43	40	30	13	11.18	21.50	16	92.62	50	48	16	13.75	20.85	16	113.36	50	48	19	16.34	20.43	20	126.62	80	60

Tabela 106. ELEKTRONSKI BALAST - zadovoljeni svi uslovi za **Cu** provodnike - DVOFAZNI SISTEM

SVETILJKA	TIP IZVORA	RASPRED STUBOVA	RASPON L [m]	PROVERA EFIKASNOSTI TN SISTEMA ZAŠTITE ZA cosφ=0.95 - DVOFAZNI SISTEM																							
				BAKARNI PROVODNICI																							
				10 mm²						16 mm²						25 mm²											
				n	If [A]	If/Id [%]	Ios [A]	Ik [A]	Ia [A]	I4 [A]	n	If [A]	If/Id [%]	Ios [A]	Ik [A]	Ia [A]	I4 [A]	n	If [A]	If/Id [%]	Ios [A]	Ik [A]	Ia [A]	I4 [A]			
NANO 1	MASTER SON-T PIA PLUS 70W	JEDNOSTRANI	26	41	15,17	29,17	16	50,30	50	48	43	15,91	23,75	16	72,67	50	48	54	19,98	23,23	20	88,13	80	60			
ARAMIS	MASTER SON-T PIA PLUS 100W	JEDNOSTRANI	27	30	15,60	30,00	16	64,51	50	48	37	19,24	28,72	20	80,26	80	60	44	22,88	26,60	25	101,46	100	75			
ONYX 2	MASTER SON-T PIA PLUS 150W	CENTRALNI	40	21	15,96	30,69	16	63,73	50	48	25	19,00	28,36	20	81,76	80	60	30	22,80	26,51	25	102,51	100	75			

Tabela 107. ELEKTRONSKI BALAST - zadovoljeni svi uslovi za **Al** provodnike - DVOFAZNI SISTEM

SVETILJKA	TIP IZVORA	RASPRED STUBOVA	RASPON L ₁ [m]	PROVERA EFIKASNOSTI TN SISTEMA ZAŠTITE ZA cosφ=0.95 - DVOFAZNI SISTEM																											
				ALUMINIJUMSKI PROVODNICI																											
				10 mm²						16 mm²						25 mm²						35 mm²									
				n	If [A]	If/Id [%]	Ios [A]	Ik [A]	Ia [A]	I4 [A]	n	If [A]	If/Id [%]	Ios [A]	Ik [A]	Ia [A]	I4 [A]	n	If [A]	If/Id [%]	Ios [A]	Ik [A]	Ia [A]	I4 [A]	n	If [A]	If/Id [%]	Ios [A]	Ik [A]	Ia [A]	I4 [A]
NANO 1	MASTER SON-T PIA PLUS 70W	JEDNOSTRANI	26	27	9.99	24.98	10	48.47	40	30	39	14.43	27.75	16	50.62	50	48	43	15.91	24.11	16	69.52	50	48	49	18.13	22.66	20	81.39	80	60
ARAMIS	MASTER SON-T PIA PLUS 100W	JEDNOSTRANI	27	24	12.48	31.20	16	50.12	50	48	30	15.60	30.00	16	62.10	50	48	35	18.20	27.58	20	80.59	80	60	38	19.76	24.70	20	97.83	80	60
ONYX 2	MASTER SON-T PIA PLUS 150W	CENTRALNI	40	16	12.16	30.40	16	51.74	50	48	20	15.20	29.23	16	64.06	50	48	21	15.06	24.18	16	90.76	50	48	26	19.76	24.70	20	98.56	80	60

Tabele 100-103, koje se odnose na **trofazni sistem napajanja**, pokazuju da je u pojedinim slučajevima bilo neophodno drastično smanjiti dužinu napajane trase (broj stubova n), ne bi li se zadovoljila oba uslova (pad napona i efikasnost TN sistema zaštite). Tabele 108-109 su priložene da bi se lakše pratila razlika u broju stubova pre i posle redukcije, u zavisnosti od snage izvora i preseka provodnika u napojnom kablju.

Tabela 108. Poređenje broja stubova kod trofaznog sistema, pre i posle zadovoljenja oba uslova (elektromagnetski balasti)

ELEKTROMAGNETSKI BALAST														
BAKARNI PROVODNICI							ALUMINIJUMSKI PROVODNICI							
SNAGA IZVORA	10 mm²		16 mm²		25 mm²		10 mm²		16 mm²		25 mm²		35 mm²	
	n		n		n		n		n		n		n	
70W	60	38	76	43	96	51	46	27	59	38	74	40	87	47
100W	47	27	59	34	74	43	36	24	46	27	58	34	68	36
150W	22	18	28	23	36	29	17	16	22	18	27	23	32	25

Tabela 109. Poređenje broja stubova kod trofaznog sistema, pre i posle zadovoljenja oba uslova (elektronski balasti)

ELEKTRONSKI BALAST														
BAKARNI PROVODNICI							ALUMINIJUMSKI PROVODNICI							
SNAGA IZVORA	10 mm²		16 mm²		25 mm²		10 mm²		16 mm²		25 mm²		35 mm²	
	n		n		n		n		n		n		n	
70W	89	43	112	43	141	54	68	27	87	43	109	43	128	54
100W	68	30	87	37	109	44	53	24	67	30	85	35	99	38
150W	33	21	42	25	74	30	25	16	32	21	41	24	48	26

Analizirajući prethodne dve tabele, vidi se da nije moguće izvesti zaključak koji se odnosi na sve slučajeve (za iste ili različite snage izvora, tipove i preseke provodnika), pa su rezultati priloženi tabelarno (tabela 110). U tabeli 110 poređene su samo redukovane vrednosti (nakon zadovoljenja oba uslova) - prikazano je koliko je procentualno moguće produžiti napajanu trasu (broj stubova n) ukoliko se u kolo sijalice priključi elektronski umesto elektromagnetskog balasta.

Tabela 110. Povećanje broja stubova za trofazni sistem uzrokovano upotrebom elektronskih umesto elektromagnetskih balasta

BAKARNI PROVODNICI				ALUMINIJUMSKI PROVODNICI			
SNAGA IZVORA	10 mm ²	16 mm ²	25 mm ²	10 mm ²	16 mm ²	25 mm ²	35 mm ²
	Δn [%]	Δn [%]	Δn [%]	Δn [%]	Δn [%]	Δn [%]	Δn [%]
70W	13.2	0	5.9	0	13.2	7.5	14.9
100W	11.1	8.8	2.3	0	11.1	2.9	5.6
150W	16.7	8.7	3.5	0	16.7	4.4	4

Može se zaključiti da su, nakon zadovoljenja oba uslova, dužine napajanih trasa određenih upotrebom elektronskog umesto elektromagnetskog balasta tek neznatno veće!

Može se videti da su osetnije razlike jedino postignute za najmanje preseke provodnika: za bakarne provodnike preseka 10 mm² i za aluminijumske provodnike preseka 16 mm². Ovakav ishod je iznenađujući, posebno imajući u vidu činjenicu da su, nakon proračuna pada napona kao jedinog ograničavajućeg faktora, dužine napajanih trasa bile značajno veće u slučaju upotrebe elektronskog balasta (45-50%). Nakon uzimanja u obzir i drugog ograničavajućeg uslova (efikasnost TN sistema zaštite), razlike u dužini napajane trase drastično su se smanjile.

Ista analiza je izvršena i za **dvofazni sistem napajanja**. Tabele 104-107 pokazuju da je neophodno drastično smanjiti dužinu napajane trase (broj stubova n) ne bi li se zadovoljila oba uslova (pad napona i efikasnost TN sistema zaštite). Tabele 111-112 su priložene da bi se lakše pratila razlika u broju stubova pre i posle redukcije, a u zavisnosti od snage izvora i preseka provodnika u napojnom kablju.

Tabela 111. Poređenje broja stubova kod dvofaznog sistema, pre i posle zadovoljenja oba uslova (elektromagnetski balasti)

ELEKTROMAGNETSKI BALAST															
BAKARNI PROVODNICI								ALUMINIJUMSKI PROVODNICI							
TIP IZVORA	10 mm ²		16 mm ²		25 mm ²		n	10 mm ²		16 mm ²		25 mm ²		35 mm ²	
	n	n	n	n	n	n	n	n	n	n	n	n	n	n	n
70W	34	34	43	38	54	47	26	24	33	33	42	38	49	47	
100W	28	27	36	34	45	43	21	21	27	27	35	34	41	37	
150W	13	13	17	17	22	22	10	10	13	13	16	16	19	19	

Tabela 112. Poređenje broja stubova kod dvofaznog sistema, pre i posle zadovoljenja oba uslova (elektronski balasti)

ELEKTRONSKI BALAST															
BAKARNI PROVODNICI								ALUMINIJUMSKI PROVODNICI							
TIP IZVORA	10 mm ²		16 mm ²		25 mm ²		n	10 mm ²		16 mm ²		25 mm ²		35 mm ²	
	n	n	n	n	n	n	n	n	n	n	n	n	n	n	n
70W	52	41	67	43	84	54	40	27	51	39	65	43	76	49	
100W	43	30	55	37	70	44	33	24	42	30	53	35	63	38	
150W	21	21	27	25	34	30	16	16	20	20	26	21	30	26	

Kao i u slučaju trofaznog sistema napajanja, rezultati su priloženi tabelarno (tabele 113-114).

Tabela 113. Redukcija broja stubova za dvofazni sistem posle zadovoljenja oba uslova

ELEKTROMAGNETSKI BALASTI								ELEKTRONSKI BALASTI							
BAKARNI PROVODNICI				ALUMINIJUMSKI PROVODNICI				BAKARNI PROVODNICI				ALUMINIJUMSKI PROVODNICI			
TIP IZVORA	10 mm ²	16 mm ²	25 mm ²	10 mm ²	16 mm ²	25 mm ²	35 mm ²	10 mm ²	16 mm ²	25 mm ²	10 mm ²	16 mm ²	25 mm ²	35 mm ²	
	Δn [%]	Δn [%]	Δn [%]	Δn [%]	Δn [%]	Δn [%]	Δn [%]	Δn [%]	Δn [%]	Δn [%]	Δn [%]	Δn [%]	Δn [%]	Δn [%]	Δn [%]
70W	0	11.6	13	7.7	0	9.5	4.1	21.2	35.8	35.7	32.5	23.5	33.9	35.5	
100W	3.6	5.6	4.4	0	0	2.9	9.8	30.2	32.7	37.1	27.3	28.6	34	39.7	
150W	0	0	0	0	0	0	0	0	7.4	11.8	0	0	19.2	13.3	

Korišćenjem elektronskih umesto elektromagnetskih balasta, napajana trasa se može produžiti. Procentualna povećanja dužine trase (broja stubova) prikazana su u tabeli 114.

Tabela 114. Povećanje broja stubova za dvofazni sistem u slučaju upotrebe elektronskog umesto elektromagnetskog balasta

SNAGA IZVORA	BAKARNI PROVODNICI			ALUMINIJUMSKI PROVODNICI			
	10 mm ²	16 mm ²	25 mm ²	10 mm ²	16 mm ²	25 mm ²	35 mm ²
	Δn [%]	Δn [%]	Δn [%]	Δn [%]	Δn [%]	Δn [%]	Δn [%]
70W	20.6	13.2	14.9	12.5	18.2	13.2	4.3
100W	11.1	8.8	2.3	14.3	11.1	2.9	2.7
150W	61.5	47	36.4	60	53.9	31.3	36.8

Može se zaključiti da su rezultati povoljniji nego u slučaju trofaznog sistema napajanja, posebno za natrijumove izvore snage 150W, kod kojih se napajana trasa produžava najmanje 31.3%!

Kada je reč o **monofaznom sistemu napajanja**, nije bilo potrebno da se vrši redukcija, jer su oba uslova već bila zadovoljena. Zbog toga se prilaže samo tabela koja pokazuje koliko je moguće produžiti napajanu trasu (povećati broj stubova n) ukoliko se u kolo sijalice priključi elektronski umesto elektromagnetskog balasta (tabela 115).

Tabela 115. Povećanje broja stubova za monofazni sistem u slučaju elektronskog umesto elektromagnetskog balasta

SNAGA IZVORA	BAKARNI PROVODNICI			ALUMINIJUMSKI PROVODNICI			
	10 mm ²	16 mm ²	25 mm ²	10 mm ²	16 mm ²	25 mm ²	35 mm ²
	Δn [%]	Δn [%]	Δn [%]	Δn [%]	Δn [%]	Δn [%]	Δn [%]
70W	40	33.3	35.7	22.2	30	33.3	28.6
100W	30	25	28.6	37.5	30	36.4	30.8
150W	42.9	22.2	40	33.3	28.6	37.5	30

Može se zaključiti da je produženje trase ujednačeno za oba tipa provodnika, sve preseke i sve snage izvora, i da u proseku iznosi približno 30%!

Na kraju, trofazni sistem je uzet kao referentni, tj. kao onaj u odnosu na koji će se videti koliko je potrebno procentualno smanjiti dužinu napajane trase u slučaju druga dva sistema napajanja.

Rezultati su priloženi tabelarno (tabele 116-117).

Tabela 116. Smanjenje broja stubova u odnosu na trofazni sistem napajanja u slučaju elektromagnetskog balasta

ELEKTROMAGNETSKI BALAST																						
BAKARNI PROVODNICI										ALUMINIJUMSKI PROVODNICI												
	10 mm²			16 mm²			25 mm²			10 mm²			16 mm²			25 mm²			35 mm²			
SNAGA IZVORA	1f	2f	3f	1f	2f	3f	1f	2f	3f	1f	2f	3f	1f	2f	3f	1f	2f	3f	1f	2f	3f	
	Δn [%]			Δn [%]			Δn [%]			Δn [%]			Δn [%]			Δn [%]			Δn [%]			
70W	73.7	10.5		72.1	11.6		72.5	7.8		66.7	11.1		73.7	13.2		70.0	5.0		70.2	0.0		
100W	63.0	0.0		64.7	0.0		67.4	0.0		66.7	12.5		63.0	0.0		67.6	0.0		63.9	-2.8		
150W	61.1	27.8		60.9	26.1		65.5	24.1		62.5	37.5		61.1	27.8		65.2	30.4		60.0	24.0		

Tabela 117. Smanjenje broja stubova u odnosu na trofazni sistem napajanja u slučaju elektronskog balasta

ELEKTRONSKI BALAST																						
BAKARNI PROVODNICI										ALUMINIJUMSKI PROVODNICI												
	10 mm²			16 mm²			25 mm²			10 mm²			16 mm²			25 mm²			35 mm²			
SNAGA IZVORA	1f	2f	3f	1f	2f	3f	1f	2f	3f	1f	2f	3f	1f	2f	3f	1f	2f	3f	1f	2f	3f	
	Δn [%]			Δn [%]			Δn [%]			Δn [%]			Δn [%]			Δn [%]			Δn [%]			
70W	67.4	4.7		62.8	0.0		64.8	0.0		59.3	0.0		69.8	9.3		62.8	0.0		66.7	9.3		
100W	56.66	0.0		59.5	0.0		59.1	0.0		54.2	0.0		56.7	0.0		57.1	0.0		55.3	0.0		
150W	52.38	0.0		56.0	0.0		53.3	0.0		50.0	0.0		5.7	4.8		54.2	12.5		50.0	0.0		

Trofazni sistem napajanja je uzet kao referentni jer je brojnim analizama nepobitno utvrđeno da on predstavlja značajno povoljnije rešenje sa tehno-ekonomskog aspekta od monofaznog i dvofaznog sistema napajanja. I predmetna analiza to potvrđuje, posebno u slučaju upotrebe elektromagnetskih balasta (tabela 116).

Ipak, u slučaju elektronskih balasta (tabela 117), može se konstatovati da u većini slučajeva nema prednosti trofaznog u odnosu na dvofazni sistem napajanja (prednosti u odnosu na monofazni sistem napajanja su očigledne). Već je pomenuto da razlog za to leži u drastičnom smanjenju dužine deonice, a sve u cilju dobijanja efikasne TN zaštite instalacije JO. Iako nema osetnije prednosti, ona postoji u nekoliko slučajeva, uglavnom kod aluminijumskih kablova, za snage izvora 70 i 150W. Za snagu izvora 100W nije registrovana prednost ni u jednom slučaju.

Poredeći sve rezultate date u ovom delu predmetne analize, može se zaključiti da trofazni sistem jeste najbolje rešenje za isporučivanje električne energije instalacijama JO, pa će shodno tome u narednim poglavljima sve analize biti rađene upravo za taj sistem napajanja.

4.4. POSTOJEĆA INSTALACIJA JAVNOG OSVETLJENJA

Ukoliko se uzme u obzir ekonomska situacija u Srbiji, jasno je da nije lako obezbediti sredstva za kompletnu zamenu dotrajalih i neefikasnih instalacija JO. Najčešće to nije moguće, pa se briga o instalacijama JO svodi na održavanje, što u konkretnom slučaju znači zamenu pregorelih izvora svetlosti i povremeno čišćenje svetiljki. Umesto da se sijalice menjaju onda kada im svetlosni fluks opadne na 80% inicijalne vrednosti, zbog smanjenja troškova (ali i neadekvatnog funkcionisanja nadležnih službi), sijalice najčešće rade sve do otkaza, pre kojeg im je fluks u dužem vremenskom periodu značajno niži od nominalnog.

U našoj projektantskoj praksi često se nije vodilo dovoljno računa o dozvoljenom padu napona, pa instalacije kod kojih pad napona prelazi čak 20% nisu retka pojava. Posledice toga su vidljive, jer se ponegde može primetiti da poslednjih nekoliko svetiljki na jednoj deonici ne radi, ili se neki od izvora svetlosti (takođe u zoni završetka napajane deonice) ciklično pale i gase.

Upravo iz navedenog razloga, zamena elektromagnetskih elektronskim prigušnicama mogla bi biti pravo rešenje, jer se može očekivati da će pad napona biti manji duž čitave deonice.

Za proveru ove pretpostavke uzete su tri od analiziranih saobraćajnih situacija iz prethodnih poglavlja, dva primera za jednostrani i jedan za centralni raspored stubova, a za sve razmatrane snage izvora. Izabran je slučaj koji najviše odgovara ustaljenoj projektantskoj praksi – trofazni sistem napajanja (objašnjeno u prethodnom poglavlju) i aluminijumski kablovi preseka 25 mm² (čest izbor kod projektovanja instalacija JO).

Pošto se analiziraju postojeće instalacije, uzeto je da su one izvedene sa elektromagnetskom predspojnom opremom (balast, upaljač i kondenzator) koja će se zameniti elektronskim prigušnicama, bez produženja trase ili promene tipa i preseka provodnika. Rezultati su dati tabelarno (tabela 118), sa prikazanim padovima napona i u slučaju elektromagnetskog i u slučaju elektronskog balasta (shodno napred rečenom, broj stubova je ostao nepromenjen).

Analiza razmatra slučaj kada su uvrštena oba ograničavajuća faktora (pad napona i efikasnost TN sistema zaštite), pa se uzima da je izvedena instalacija upravo ona sa redukovanim brojem stubova.

Tabela 118. Poređenje pada napona u slučaju zamene balasta na postojećoj instalaciji

TIP IZVORA	RASPORED STUBOVA	RASPON L1 [m]	ELEKTROMAGNETSKI BALASTI		ELEKTRONSKI BALASTI	
			25mm ²		25mm ²	
			n	Δu [%]	n	Δu [%]
MASTER SON-T PIA PLUS 70W (6.6 klm)	JEDNOSTRANI	23	40	1.53	40	1.46
MASTER SON-T PIA PLUS 100W (10.7 klm)	JEDNOSTRANI	27	34	1.82	34	1.76
MASTER SON-T PIA PLUS 150W (17.5 klm)	CENTRALNI	40	23	3.49	23	3.33

Mogu se izvesti sledeći zaključci:

- za snagu izvora 70W, pad napona na poslednjoj svetiljci će se neznatno smanjiti nakon zamene prigušnice (sa 1.53% na 1.46%),
- za snagu izvora 100W, pad napona na poslednjoj svetiljci će se neznatno smanjiti nakon zamene prigušnice (sa 1.82% na 1.76%),
- za snagu izvora 150W, pad napona na poslednjoj svetiljci će se neznatno smanjiti nakon zamene prigušnice (sa 3.49% na 3.33%).

Analizom vrednosti iz tabela 2-6 (snaga 70W), 27-31 (snaga 100W) i 52-56 (snaga 150W) koje se odnose na elektromagnetske i elektronske balaste, može se zaključiti da će utrošena električna energija biti manja u slučaju elektronskih balasta tokom jednog četvorogodišnjeg ciklusa. Ovo se dešava iz dva razloga: 1) padovi napona su manji zbog manjih gubitaka koje proizvodi elektronski balast, i 2) snaga svetiljke manje varira sa promenama mrežnog napona u slučaju upotrebe elektronskog balasta.

Za svaku od svetiljki na napajanoj deonici određuje se snaga na kraju svake godine eksploatacionog ciklusa na osnovu pada napona na svetiljci (vrednost se određuje interpolacijom, pretpostavljajući da se snaga menja približno linearno sa naponom). Ukoliko se pretpostavi i da snaga svake pojedinačne svetiljke raste približno linearno sa starenjem instalacije, mogu da se uporede srednje vrednosti snage na nivou kompletne instalacije tokom celog eksploatacionog ciklusa.

Izvori snage 70W

- određuje se pad napona za svaku od svetiljki (ukupno 40 na napajanoj deonici), pri čemu srednja vrednost pada napona na čitavoj trasi iznosi $\Delta u = 0.57\%$,
- za vrednost napona koja se ima pri padu napona od 0.57% ($U = 228.7V$) određuje se interpolacijom vrednost snage svetiljke (ukupna snaga sa gubicima), koja iznosi $P_{nova} = 82.35W$. Ovo je ekvivalentna vrednost koja se dobija na osnovu aproksimacije da sve svetiljke na jednoj deonici imaju jednak pad napona (srednja vrednost data u prethodnoj stavci),
- snaga svetiljke data u prethodnoj stavci odnosi se na trenutak kada je instalacija nova, a sa starenjem instalacije raste i ekvivalentna snaga svetiljke ($P_{1god} = 86.35W$, $P_{2god} = 90.22W$, $P_{3god} = 94.22W$ i $P_{4god} = 97.35W$),
- ekvivalentna snaga jedne svetiljke sa elektromagnetskom predspojnom opremom u periodu od 4 godine iznosi **$P_{ekv} = 90.16W$** ,
- u slučaju upotrebe elektronskog balasta, snaga ostaje praktično nepromenjena sa padom napona. To znači da sve svetiljke na napajanoj deonici imaju istu snagu, a posledično i isti svetlosni fluks,
- tokom starenja instalacije, snaga svetiljke sa elektronskim balastom neznatno se povećava (za 2.5%), i
- ekvivalentna snaga jedne svetiljke sa elektronskim balastom u periodu od 4 godine iznosi **$P_{ekv} = 80.25W$** .

U slučaju zamene postojeće elektromagnetske predspojne opreme elektronskim balastima, snaga instalacije (a samim tim i potrošnja električne energije) tokom eksploatacionog ciklusa smanjuje se 11% !

Izvori snage 100W

- određuje se pad napona za svaku od svetiljki (ukupno 34 na napajanoj deonici), pri čemu srednja vrednost pada napona na čitavoj trasi iznosi $\Delta u = 0.69\%$,
- za vrednost napona koja se ima pri padu napona od 0.69% ($U = 228.4V$) određuje se interpolacijom vrednost snage svetiljke (ukupna snaga sa gubicima), koja iznosi $P_{nova} = 116.88W$. Ovo je ekvivalentna vrednost koja se dobija na osnovu aproksimacije da sve svetiljke na jednoj deonici imaju jednak pad napona (srednja vrednost data u prethodnoj stavci),
- snaga svetiljke data u prethodnoj stavci se odnosi na trenutak kada je instalacija nova, a sa starenjem instalacije raste i ekvivalentna snaga svetiljke ($P_{1god} = 122.72W$, $P_{2god} = 127.72W$, $P_{3god} = 132.88W$ i $P_{4god} = 138.72W$),
- ekvivalentna snaga jedne svetiljke sa elektromagnetskom predspojnom opremom u periodu od 4 godine iznosi **$P_{ekv} = 127.78W$** ,
- u slučaju upotrebe elektronskog balasta, snaga ostaje praktično nepromenjena sa padom napona. To znači da sve svetiljke na napajanoj deonici imaju istu snagu, a posledično i isti svetlosni fluks,
- tokom starenja instalacije, snaga svetiljke sa elektronskim balastom neznatno se povećava (za 2.7%), i
- ekvivalentna snaga jedne svetiljke sa elektronskim balastom u periodu od 4 godine iznosi **$P_{ekv} = 113.63W$** .

U slučaju zamene postojeće elektromagnetske predspojne opreme elektronskim balastima, snaga instalacije (a samim tim i potrošnja električne energije) tokom eksploatacionog ciklusa smanjuje se 11.1% !

Izvori snage 150W

- određuje se pad napona za svaku od svetiljki (ukupno 23 na napajanoj deonici), pri čemu srednja vrednost pada napona na čitavoj trasi iznosi $\Delta u = 1.32\%$,
- za vrednost napona koja se ima pri padu napona od 1.32% ($U = 227V$) određuje se interpolacijom vrednost snage svetiljke (ukupna snaga sa gubicima), koja iznosi $P_{nova} = 172.7W$. Ovo je ekvivalentna vrednost koja se dobija na osnovu aproksimacije da sve svetiljke na jednoj deonici imaju jednak pad napona (srednja vrednost data u prethodnoj stavci),
- snaga svetiljke data u prethodnoj stavci se odnosi na trenutak kada je instalacija nova, a sa starenjem instalacije raste i ekvivalentna snaga svetiljke ($P_{1god} = 180.7W$, $P_{2god} = 188.7W$, $P_{3god} = 196.7W$ i $P_{4god} = 204.7W$),
- ekvivalentna snaga jedne svetiljke sa elektromagnetskom predspojnom opremom u periodu od 4 godine iznosi **$P_{ekv} = 188.7W$** ,
- u slučaju upotrebe elektronskog balasta, snaga ostaje praktično nepromenjena sa padom napona. To znači da sve svetiljke na napajanoj deonici imaju istu snagu, a posledično i isti svetlosni fluks,

-
- tokom starenja instalacije, snaga svetiljke sa elektronskim balastom neznatno se povećava (za 2.4%), i
 - ekvivalentna snaga jedne svetiljke sa elektronskim balastom u periodu od 4 godine iznosi **$P_{ekv} = 169W$** .

U slučaju zamene postojeće elektromagnetske predspojne opreme elektronskim balastima, snaga instalacije (a samim tim i potrošnja električne energije) tokom eksploatacionog ciklusa smanjuje se 10.4% !

Može se zaključiti da se vrednost maksimalnog pada napona (koji se ima na poslednjoj svetiljci na napajanoj trasi) neće osetnije smanjiti nakon zamene elektromagnetske opreme elektronskim balastima. Međutim, zahvaljujući osobini elektronskog balasta da u širim varijacijama napona održava snagu sijalice konstantnom, ostvariće se uštede u potrošnji električne energije za sve snage izvora, koje prosečno iznose 10.8%.

Iako nije merljiva u tehno-ekonomskom smislu, prednost upotrebe elektronskih balasta leži i u činjenici da su fotometrijski uslovi isti za sve svetiljke na napajanoj trasi. Pošto je snaga sijalice praktično konstantna, konstantan je i izračeni svetlosni fluks. U slučaju upotrebe elektromagnetskih balasta, svetlosni fluks značajno opada sa smanjenjem napona (naponski faktor). Iako se u konkretnom slučaju svetlosni fluks malo smanjuje (za pad napona od 1.32%, fluks opada približno 3%), može se zamisliti realna instalacija za koju maksimalni pad napona iznosi 5% (u tom slučaju svetlosni fluks će opasti čak 14%). Ukoliko bi, primera radi, pad napona iznosio 8%, svetlosni fluks bi opao 24% (slika 13). Kada se koristi elektronski balast, očekivane varijacije napona neće imati osetniji uticaj na svetlosni fluks sijalice.

4.5. NOVOPROJEKTOVANA INSTALACIJA JAVNOG OSVETLJENJA

U ovom poglavlju se proverava opravdanost pretpostavke da će novoprojektovana instalacija sa elektronskim balastima biti bolje rešenje sa tehno-ekonomskog i fotometrijskog aspekta u odnosu na novoprojektovanu instalaciju sa elektromagnetskom predspojnom opremom.

Za proveru ove pretpostavke uzete su tri od analiziranih saobraćajnih situacija iz prethodnih poglavlja, po jedan primer za svaku snagu izvora. Pošto su u prethodnom poglavlju analizirani samo aluminijumski provodnici preseka 25mm^2 , izabran je slučaj koji se takođe često sreće u projektantskoj praksi – trofazni sistem napajanja, bakarni i aluminijumski kablovi preseka 16mm^2 (čest izbor kod projektovanja instalacija JO). Analizirana su dva primera sa bakarnim i jedan sa aluminijumskim provodnicima.

Važno je napomenuti da se u analizi koriste redukovane vrednosti broja stubova, tj. one koje su dobijene nakon zadovoljenja oba uslova (pada napona i efikasnosti zaštite). Pošto predmetna analiza ne tretira produženje napajane trase (tabela 110 - ovo bi zakomplikovalo analizu u smislu uvrštavanja trafostanice, njene opterećenosti i cene), jedina mogućnost je da se smanji presek napojnih kablova u slučaju upotrebe elektronskih balasta. Ukoliko bi to bilo moguće, ostvarile bi se investicione uštede u ceni kablova i pripadajuće zaštitne opreme.

Tri saobraćajne situacije su date u tabeli 119. Ona sadrži broj stubova (n) i maksimalni pad napona (Δu) za slučaj korišćenja elektromagnetskih balasta, i to za sve snage izvora i presek provodnika od 16mm^2 . U tabeli je takođe dat broj stubova (n) i maksimalni pad napona (Δu) u slučaju upotrebe elektronskih balasta, za iste saobraćajne uslove (geometrija saobraćajnice, tip svetiljke i snaga izvora, visina i raspored stubova, raspon između susednih stubova, zahtevani nivo i ravnomernost sjajnosti), ali sa smanjenim presekom provodnika (10mm^2). Primećuje se da se u dva od tri razmatrana slučaja ima manji broj stubova u varijanti sa elektronskim balastom (zbog ograničenja koja se odnose na efikasnost TN sistema zaštite).

Tabela 119. Poređenje balasta za novoprojektovanu instalaciju

TIP IZVORA	RASPORED STUBOVA	RASPON L1 [m]	ELEKTROMAGNETSKI BALASTI		ELEKTRONSKI BALASTI		TIP KABLA
			16mm²		10mm²		
			n	Δu [%]	n	Δu [%]	
MASTER SON-T PIA PLUS 70W (6.6 klm)	JEDNOSTRANI	23	43	1.67	43	2.5	Cu
MASTER SON-T PIA PLUS 100W (10.7 klm)	JEDNOSTRANI	27	27	1.85	24	2.31	Al
MASTER SON-T PIA PLUS 150W (17.5 klm)	CENTRALNI	40	23	3.32	21	4.20	Cu

Budući da je moguće naći takve primere u kojima bi razlika u broju stubova u slučaju različitih preseka bilo gotovo zanemarljiva, prilikom implementacije metode aktuelizacije troškova će se pretpostaviti da se zamenom preseka kablova ne skraćuje napajana trasa! Takva aproksimacija olakšava analizu jer ne tretira pitanje transformatorske stanice, njene opterećenosti i cene.

U narednom poglavlju, primenom metode aktuelizacije troškova (i na slučajeve postojećih i na slučajeve novoprojektovanih instalacija) analizirani su ekonomski aspekti upotrebe elektronskih balasta.

5. METODA AKTUELIZACIJE TROŠKOVA

Metoda aktuelizacije troškova je opšte prihvaćena metoda koja se može primeniti i za ekonomsko poređenje elektromagnetskih i elektronskih balasta u instalacijama JO. Opis metode i odgovarajuće formule preuzeti su iz literature [41].

Trofazni sistem je izabran kao najefikasnije rešenje (objašnjeno u poglavlju 4.3), a izabrani su primeri za sve snage izvora, i to kako za postojeću, tako i za novoprojektovanu instalaciju. Analizirana je primena oba tipa provodnika (bakarnih i aluminijumskih) za različite preseke.

Razmatraju se ukupni troškovi unutar istog amortizacionog perioda T , koji uključuju kako inicijalne (investicione), tako i troškove eksploatacije. Inicijalni troškovi uključuju troškove izrade projekta (čiji je deo i fotometrijski projekat), troškove opreme i materijala (TS, razvodnih ormana, kablova, stubova, lira, svetiljki, izvora svetlosti...), troškove svih neophodnih radova, kao i troškove testiranja novoizvedene instalacije osvetljenja. Budući da su mnogi od ovih troškova praktično jednaki u oba slučaja (cena projekta, transformatorske stanice, razvodnih ormana, testiranja, montaže opreme...), jedino su poređene cene svetiljki (razlika je u ceni ugrađene predspojne opreme) i kablova različitog preseka (samo u slučajevima novoprojektovanih instalacija).

Pošto su u oba slučaja koja tretira predmetna analiza (sa elektromagnetskim i elektronskim balastima) nepromenjeni dužina napajane trase i broj stubova na njoj, **metodu aktuelizacije troškova moguće je primeniti na samo jedan stub** (bez obzira da li se na stubu nalazi jedna (jednostrani raspored) ili dve svetiljke (centralni raspored)).

Metoda će se primeniti na 3 primera postojeće i 3 primera novoprojektovane instalacije (redom tabele 118 i 119).

5.1. POSTOJEĆA INSTALACIJA JAVNOG OSVETLJENJA

Da bi se odredili inicijalni troškovi, posmatra se napajana trasa sa svetiljkama sa elektromagnetskom predspojnom opremom, na kojoj se na kraju eksploatacionog ciklusa od 20 godina vrši grupna zamena svih svetiljki (sa izvorima) i stubova (temelji i kablovi već postoje), pri čemu se postavljaju svetiljke istih karakteristika, ali sa elektronskim balastima. Budući da su raspored i visina stubova, kao i tipovi svetiljki (i izvori u njima), isti u oba slučaja, jedinu razliku u inicijalnim troškovima predstavlja razlika u ceni elektromagnetske predspojne opreme i elektronskog balasta. Na osnovu informacija dobijenih od JKP “Javno osvetljenje”, prosečan životni vek stubova u instalacijama JO je približno 20 godina, pa je pretpostavka da se stubovi menjaju kad i svetiljke (nakon 20 godina) opravdana.

Inicijalni troškovi (C_{in}) odnose se na cenu zamene kompletne svetiljke sa predspojnim uređajem i izvorom svetlosti (u okviru grupne zamene svetiljki) [43, 44]:

$$C_{in} = k \cdot (C_{sv} + C_{l.s} + C_{msv}), \quad (22)$$

u kojoj:

- C_{sv} predstavlja cenu svetiljke sa predspojnom opremom,
- $C_{l.s.}$ je cena izvora svetlosti,
- C_{msv} predstavlja cenu montaže svetiljke na stub (prema podacima dobijenim od JKP “Javno osvetljenje”, uzima se da je $C_{msv} = 1400$ din. [41]), i
- k je broj svetiljki po stubu.

Troškovi eksploatacije obuhvataju troškove za utrošenu električnu energiju i troškove održavanja, koji pre svega uključuju troškove čišćenja svetiljke i troškove zamene izvora svetlosti i predspojne opreme.

Troškovi za utrošenu električnu energiju svetiljke u toku jedne godine mogu da se izračunaju primenom formule [43, 44]:

$$C_{elen} = k \cdot P_l \cdot T_g \cdot C_{kWh} , \quad (23)$$

u kojoj:

- P_l (kW) predstavlja ukupnu snagu izvora svetlosti i predspojne opreme (na osnovu zaključaka izvedenih iz tabela u poglavlju 4.1, uzima se da je ekvivalentna snaga (srednja snaga u toku perioda eksploatacije od 20 godina) 13% veća u slučaju elektromagnetskih balasta za sve snage izvora). Odgovarajuće snage su date u tabeli 120 (P_{IEM} i P_{IEL}),
- T_g je broj časova rada izvora svetlosti u toku jedne godine (u ovoj analizi je usvojeno $T_g=4015h$, pre svega jer su rezultati dobijeni primenom Philipsovog programa *Simulation HID* bazirani upravo na ovoj vrednosti. U praksi, ova vrednost je nešto veća i, prema podacima dobijenim od JKP “Javno osvetljenje”, ona iznosi 4046h [41]), i
- C_{kWh} je cena jednog kWh električne energije (analiza je rađena za 4 različite cene električne energije, trenutnu (6.08 din/kWh) i za tri moguće cene u bliskoj budućnosti (9 din/kWh, 11 din/kWh ili 13 din/kWh).

Tabela 120. Veličine potrebne za primenu metode aktuelizacije troškova

TIP SVETILJKE	RASPORED STUBOVA	STUB [m]	k	P [W]	P_{IEM} [W]	P_{IEL} [W]	C_{msv} [din]	C_{icl} [din]	T_{god} [h]	$C_v + C_{ch}$ [din]	$C_{vc} + C_{chc}$ [din]	$C_{VEL} + C_{chEL}$ [din]
NANO 1	JEDNOSTRANI	5	1	70	92.3	80.4	1400	100	4015	800	950	950
IPSO	JEDNOSTRANI	7	1	100	131.1	113.9	1400	100	4015	800	950	950
ONYX 2	CENTRALNI	10	2	150	195	169.4	1400	100	4015	800	950	950

Pošto optimalna procedura održavanja instalacije JO pretpostavlja periodičnu grupnu zamenu izvora svetlosti, kao i da se svetiljke čiste samo onda kada se vrši grupna zamena izvora svetlosti, troškovi zamene izvora i čišćenja svetiljki (C_{GR}) pri grupnoj zameni izvora mogu se izračunati po formuli [43, 44]:

$$C_{GR} = k \cdot (C_{icl} + C_{l.s.} + C_v + C_{ch}) , \quad (24)$$

u kojoj:

- C_{icl} predstavlja cenu čišćenja svetiljke (uzima se da ona iznosi 100 din.),
- C_v predstavlja cenu rada i angažovanja dizalice prilikom zamene jednog izvora svetlosti pri grupnoj zameni (uzima se da je dizalica angažovana 30 minuta prilikom zamene izvora), i
- C_{ch} predstavlja cenu provere izvora svetlosti pre transporta. Prema podacima dobijenim od JKP “Javno osvetljenje”, uzima se da je $C_v + C_{ch} = 800$ din.

Pored grupne zamene izvora, treba uzeti u obzir i grupnu zamenu kondenzatora u slučaju elektromagnetske predspojne opreme (C_{GRC}). Imajući u vidu da je u predmetnoj analizi usvojen period eksploatacije od 20 godina (što je realno trajanje jedne instalacije JO), u toku eksploatacionog ciklusa biće izvršena 1 grupna zamena kondenzatora (u analizi je uzeto da je životni vek kondenzatora 10 godina), jer se kraj ciklusa od 20 godina tretira kao trenutak kada će se ponovo izvršiti grupna zamena svetiljki. Troškovi grupne zamene kondenzatora određuju se primenom formule [43, 44]:

$$C_{GRC} = k \cdot (C_{kond} + C_{vc} + C_{chc}) , \quad (25)$$

u kojoj:

- C_{kond} predstavlja cenu kompenzacionog kondenzatora,
- C_{vc} predstavlja cenu rada i angažovanja dizalice prilikom zamene kondenzatora pri grupnoj zameni, i
- C_{chc} predstavlja cenu provere uređaja pre transporta (jednaka vrednosti C_{ch}). Prema podacima dobijenim od JKP "Javno osvetljenje", uzima se da je $C_{vc} + C_{chc} = 950$ din.

Budući da se na kraju eksploatacionog ciklusa od 20 godina menjaju kompletne svetiljke (sa izvorima), cena zamene kompletne elektromagnetske predspojne opreme neće biti predmet analize.

U slučaju instalacije sa elektronskim balastima, mora se uzeti u obzir da je usvojen životni vek elektronskih balasta od 10 godina, pa će se u toku definisanog eksploatacionog perioda izvršiti jedna grupna zamena tih uređaja. Cena zamene elektronskog balasta pri grupnoj zameni iznosi [43, 44] :

$$C_{GREL} = k \cdot (C_{EL} + C_{vel} + C_{chel}), \quad (26)$$

gde:

- C_{EL} predstavlja cenu elektronskog balasta,
- C_{vel} predstavlja cenu rada i angažovanja dizalice prilikom zamene elektronskog balasta pri grupnoj zameni, i
- C_{chel} predstavlja cenu provere uređaja pre transporta (jednaka vrednosti C_{ch}). Prema podacima dobijenim od JKP "Javno osvetljenje", uzima se da je $C_{vel} + C_{chel} = 950$ din.

U predmetnoj analizi neće biće tretirani i troškovi pojedinačne zamene rano pregorelih izvora svetlosti, jer njihov uticaj na ukupne troškove svetiljke može da se zanemari.

Ukupni aktuelizovani troškovi zamene svetiljki po jednom stubnom mestu i njihovog rada, C_T , svedeni na kraj perioda eksploatacije, T , mogu da se odrede primenom sledeće formule [43, 44]:

$$C_T = C_{ink} + C_{elenk} + C_{GRk} + C_{GRck}, \quad (27)$$

u kojoj su:

- C_{ink} - inicijalni (investicioni) troškovi svedeni na kraj perioda eksploatacije:

$$C_{ink} = C_{in} \cdot \left(1 + \frac{i}{100}\right)^T, \quad (28)$$

(i je stopa aktuelizacije),

- C_{elenk} - ukupni troškovi za utrošenu električnu energiju, svedeni na kraj perioda eksploatacije:

$$C_{elenk} = C_{elen} \cdot \left[1 + \left(1 + \frac{i}{100}\right) + \left(1 + \frac{i}{100}\right)^2 + \dots + \left(1 + \frac{i}{100}\right)^{T-1}\right], \quad (29)$$

odnosno,

$$C_{elenk} = C_{elen} \cdot \frac{\left(1 + \frac{i}{100}\right)^T - 1}{\frac{i}{100}}, \quad (30)$$

- C_{GRk} - ukupni troškovi svih grupnih zamena izvora svetlosti i čišćenja svetiljki pri grupnoj zameni izvora tokom perioda eksploatacije, svedeni na kraj tog perioda:

$$C_{GRk} = C_{GR} \cdot \left(\left(1 + \frac{i}{100}\right)^{T_{GR}} + \left(1 + \frac{i}{100}\right)^{2T_{GR}} + \dots + \left(1 + \frac{i}{100}\right)^{n_R T_{GR}} \right) \quad (31)$$

$$C_{GRk} = C_{GR} \cdot \left(1 + \frac{i}{100}\right)^{T_{GR}} \left(1 + \left(1 + \frac{i}{100}\right)^{T_{GR}} + \dots + \left(1 + \frac{i}{100}\right)^{(n_R-1)T_{GR}} \right) \quad (32)$$

$$C_{GRk} = C_{GR} \cdot \left(1 + \frac{i}{100}\right)^{T_{GR}} \cdot \frac{\left(1 + \frac{i}{100}\right)^{n_R T_{GR}} - 1}{\left(1 + \frac{i}{100}\right)^{T_{GR}} - 1}. \quad (33)$$

(u formulama 31-33, $T_{GR} = 4(5)$ god. predstavlja period grupne zamene (period održavanja), odnosno vek trajanja izvora svetlosti tipa MASTER SON-T PIA Plus, a n_R je ukupan broj grupnih zamena u toku perioda eksploatacije T:

$$n_R = \frac{T}{T_{GR}} - 1, \quad (34)$$

- C_{GRCK} – troškovi zamene kondenzatora tokom perioda eksploatacije, svedeni na kraj tog perioda:

$$C_{GRCK} = C_{GRC} \cdot \left(\left(1 + \frac{i}{100}\right)^{T_{GRC}} + \left(1 + \frac{i}{100}\right)^{2T_{GRC}} + \dots + \left(1 + \frac{i}{100}\right)^{n_C T_{GRC}} \right) \quad (35)$$

$$C_{GRCK} = C_{GRC} \cdot \left(1 + \frac{i}{100}\right)^{T_{GRC}} \left(1 + \left(1 + \frac{i}{100}\right)^{T_{GRC}} + \dots + \left(1 + \frac{i}{100}\right)^{(n_C-1)T_{GRC}} \right) \quad (36)$$

$$C_{GRCK} = C_{GRC} \cdot \left(1 + \frac{i}{100}\right)^{T_{GRC}} \cdot \frac{\left(1 + \frac{i}{100}\right)^{n_C T_{GRC}} - 1}{\left(1 + \frac{i}{100}\right)^{T_{GRC}} - 1}. \quad (37)$$

(u formulama 35-37, $T_{GRC} = 10$ god. predstavlja period grupne zamene kondenzatora, a $n_C = 1$ broj zamena u toku perioda eksploatacije T).

U slučaju elektronskog balasta, umesto sabirka C_{GRck} formula 27 sadrži sabirak C_{GRELk} , koji obuhvata troškove zamene elektronskog balasta pri grupnoj zameni balasta tokom perioda eksploatacije, svedene na kraj tog perioda:

$$C_{GRELk} = C_{GREL} \cdot \left(\left(1 + \frac{i}{100}\right)^{T_{GREL}} + \left(1 + \frac{i}{100}\right)^{2T_{GREL}} + \dots + \left(1 + \frac{i}{100}\right)^{n_{EL}T_{GREL}} \right) \quad (38)$$

$$C_{GRELk} = C_{GREL} \cdot \left(1 + \frac{i}{100}\right)^{T_{GREL}} \left(1 + \left(1 + \frac{i}{100}\right)^{T_{GREL}} + \dots + \left(1 + \frac{i}{100}\right)^{(n_{EL}-1)T_{GREL}} \right) \quad (39)$$

$$C_{GRELk} = C_{GREL} \cdot \left(1 + \frac{i}{100}\right)^{T_{GREL}} \cdot \frac{\left(1 + \frac{i}{100}\right)^{n_{EL}T_{GREL}} - 1}{\left(1 + \frac{i}{100}\right)^{T_{GREL}} - 1} \quad (40)$$

(u formulama 38-40, $T_{GREL} = 10$ god. predstavlja period grupne zamene, a $n_C = 1$ broj zamena u toku perioda eksploatacije T).

Saglasno savremenim izvorima, stopa aktuelizacije se nalazi između 5% i 10%. Zbog toga su u okviru ekonomske analize razmatrane tri različite stope aktuelizacije: $i = 5\%$, 7.5% i 10% .

Za već izabrana tri slučaja saobraćajnice (tabela 118) izračunavaju se ukupni (svedeni) troškovi svetiljki po jednom stubnom mestu za sve tri vrednosti stope aktuelizacije i period eksploatacije od $T = 20$ godina.

Tipovi svetiljki, balasta i izvora svetlosti korišćeni u predmetnoj analizi predstavljeni su u prethodnim poglavljima, a njihove cene (bez poreza) date su u tabeli 121.

Tabela 121. Cene svetiljki, predspojne opreme i sijalica

SVETILJKA (bez predspojne opreme) [din]		ELEKTROMAGNETSKA OPREMA [din]			ELEKTRONSKI BALAST [din]	SIJALICA [din]
		BALAST	UPALJAČ	KONDENZATOR		
NANO 1/70W	6634	1234	734	174	8134	1194
OPALO 1/70W	5316					
ARAMIS/100W	16338	1260	734	204	8390	1356
IPSO/100W	14054					
ONYX 2/150W	18358	1764	734	220	8648	1566

U tabelama 122-129 dati su ukupni i pojedinačni aktuelizovani troškovi i u slučaju upotrebe elektromagnetskih i u slučaju upotrebe elektronskih predspojnih uređaja, za različite vrednosti stope aktuelizacije i različite cene električne energije, kao i procentualne razlike ukupnih troškova za eksploatacioni period od 20 godina.

U tabelama 123, 125, 127 i 129 gornje vrednosti se odnose na elektromagnetske, a donje na elektronske balaste.

Tabela 122. Ukupni (aktuelizovani) troškovi za slučaj postojeće instalacije – cena el. en. 6.08 din/kWh

POSTOJEĆA INSTALACIJA - cena el.en. 6.08 din/kWh					
Raspored	Tip svetiljke	Ukupni		$\frac{C_2 - C_1}{C_1} \cdot 100$	i [%]
		C ₁ EM	C ₂ EL		
jednostrani	NANO 1	255,915	394,603	54.2%	10
jednostrani	IPSO	364,518	499,695	37.1%	
centralni	ONYX 2	982,407	1,210,042	23.2%	
jednostrani	NANO 1	203,352	344,305	69.3%	7.5
jednostrani	IPSO	280,181	418,907	49.5%	
centralni	ONYX 2	746,095	992,261	33.0%	
jednostrani	NANO 1	177,941	344,920	93.8%	5
jednostrani	IPSO	233,792	399,864	71.0%	
centralni	ONYX 2	607,391	917,147	51.0%	

Tabela 123. Pojedinačni (aktuelizovani) troškovi za slučaj postojeće instalacije – cena el. en. 6.08 din/kWh

POSTOJEĆA INSTALACIJA - cena el. en. 6.08 din/kWh							
i	Pl.s. [W]	C _{GRCK} [din]	C _{GRELK} [din]	C _{ink} [din]	C _{elenk} [din]	C _{grk} [din]	Tip balasta
10%	70	18,293 0	0 147,838	76,492 116,803	129,049 112,411	32,081 17,551	EM EL
	100	18,781 0	0 152,004	127,876 169,533	183,298 159,249	34,563 18,909	EM EL
	150	38,082 0	0 312,406	323,485 403,273	545,279 473,694	75,561 20,669	EM EL
7.5%	70	21,288 0	0 172,043	48,298 73,751	97,572 84,992	36,194 13,518	EM EM
	100	21,856 0	0 176,892	80,743 107,046	138,588 120,406	38,994 14,564	EM EL
	150	44,318 0	0 363,556	204,254 254,633	412,277 358,152	85,248 15,919	EM EL
5%	70	27,657 0	0 223,520	30,168 46,067	74,503 64,897	45,613 10,437	EM EL
	100	28,395 0	0 229,819	50,434 66,863	105,821 91,938	49,142 11,244	EM EL
	150	57,578 0	0 472,334	127,581 159,049	314,800 273,472	107,432 12,291	EM EL

Tabela 124. Ukupni (aktuelizovani) troškovi za slučaj postojeće instalacije – cena el. en. 9 din/kWh

POSTOJEĆA INSTALACIJA - cena el.en. 9 din/kWh					
Raspored	Tip svetiljke	Ukupni		$\frac{C_2 - C_1}{C_1} \cdot 100$	i [%]
		C ₁ EM	C ₂ EL		
jednostrani	NANO 1	317,892	448,590	41.1%	10
jednostrani	IPSO	452,549	576,177	27.3%	
centralni	ONYX 2	1,244,285	1,437,539	15.5%	
jednostrani	NANO 1	250,212	385,124	53.9%	7.5
jednostrani	IPSO	346,740	476,734	37.5%	
centralni	ONYX 2	944,097	1,164,268	23.3%	
jednostrani	NANO 1	213,722	376,088	76.0%	5
jednostrani	IPSO	284,614	444,018	56.0%	
centralni	ONYX 2	758,578	1,048,486	38.2%	

Tabela 125. Pojedinačni (aktuelizovani) troškovi za slučaj postojeće instalacije – cena el. en. 9 din/kWh

POSTOJEĆA INSTALACIJA - cena el. en. 9 din/kWh							
i	Pl.s. [W]	C _{GRCK} [din]	C _{GRELK} [din]	C _{ink} [din]	C _{elenk} [din]	C _{grk} [din]	Tip balasta
10%	70	18,293 0	0 147,838	76,492 116,803	191,027 166,398	32,081 17,551	EM EL
	100	18,781 0	0 152,004	127,876 169,533	271,329 235,731	34,563 18,909	EM EL
	150	38,082 0	0 312,406	323,485 403,273	807,157 701,191	75,561 20,669	EM EL
7.5%	70	21,288 0	0 172,043	48,298 73,751	144,432 125,811	36,194 13,518	EM EM
	100	21,856 0	0 176,892	80,743 107,046	205,147 178,232	38,994 14,564	EM EL
	150	44,318 0	0 363,556	204,254 254,633	610,278 530,159	85,248 15,919	EM EL
5%	70	27,657 0	0 223,520	30,168 46,067	110,284 96,065	45,613 10,437	EM EL
	100	28,395 0	0 229,819	50,434 66,863	156,643 136,092	49,142 11,244	EM EL
	150	57,578 0	0 472,334	127,581 159,049	465,987 404,811	107,432 12,291	EM EL

Tabela 126. Ukupni (aktuelizovani) troškovi za slučaj postojeće instalacije – cena el. en. 11 din/kWh

POSTOJEĆA INSTALACIJA - cena el.en. 11 din/kWh					
Raspored	Tip svetiljke	Ukupni		$\frac{C_2 - C_1}{C_1} \cdot 100$	i [%]
		C ₁ EM	C ₂ EL		
jednostrani	NANO 1	360,343	485,567	34.8%	10
jednostrani	IPSO	512,844	628,562	22.6%	
centralni	ONYX 2	1,423,653	1,593,360	11.9%	
jednostrani	NANO 1	282,308	413,082	46.3%	7.5
jednostrani	IPSO	392,328	516,341	31.6%	
centralni	ONYX 2	1,079,714	1,282,081	18.7%	
jednostrani	NANO 1	238,229	397,436	66.8%	5
jednostrani	IPSO	319,424	474,261	48.5%	
centralni	ONYX 2	862,131	1,138,444	32.0%	

Tabela 127. Pojedinačni (aktuelizovani) troškovi za slučaj postojeće instalacije – cena el. en. 11 din/kWh

POSTOJEĆA INSTALACIJA - cena el. en. 11 din/kWh							
i	Pl.s. [W]	C _{GRCK} [din]	C _{GRELK} [din]	C _{ink} [din]	C _{elenk} [din]	C _{grk} [din]	Tip balasta
10%	70	18,293	0	76,492	233,477	32,081	EM
		0	147,838	116,803	203,376	17,551	EL
	100	18,781	0	127,876	331,624	34,563	EM
		0	152,004	169,533	288,116	18,909	EL
	150	38,082	0	323,485	986,525	75,561	EM
		0	312,406	403,273	857,012	20,669	EL
7.5%	70	21,288	0	48,298	176,528	36,194	EM
		0	172,043	73,751	153,769	13,518	EM
	100	21,856	0	80,743	250,735	38,994	EM
		0	176,892	107,046	217,840	14,564	EL
	150	44,318	0	204,254	745,895	85,248	EM
		0	363,556	254,633	647,972	15,919	EL
5%	70	27,657	0	30,168	134,791	45,613	EM
		0	223,520	46,067	117,413	10,437	EL
	100	28,395	0	50,434	191,453	49,142	EM
		0	229,819	66,863	166,335	11,244	EL
	150	57,578	0	127,581	569,540	107,432	EM
		0	472,334	159,049	494,769	12,291	EL

Tabela 128. Ukupni (aktuelizovani) troškovi za slučaj postojeće instalacije – cena el. en. 13 din/kWh

POSTOJEĆA INSTALACIJA - cena el.en. 13 din/kWh					
Raspored	Tip svetiljke	Ukupni		$\frac{C_2 - C_1}{C_1} \cdot 100$	i [%]
		C ₁ EM	C ₂ EL		
jednostrani	NANO 1	402,793	522,545	29.7%	10
jednostrani	IPSO	573,140	680,946	18.8%	
centralni	ONYX 2	1,603,021	1,749,180	9.1%	
jednostrani	NANO 1	314,404	441,040	40.3%	7.5
jednostrani	IPSO	437,917	555,948	27.0%	
centralni	ONYX 2	1,215,331	1,399,894	15.2%	
jednostrani	NANO 1	262,737	418,784	59.4%	5
jednostrani	IPSO	354,233	504,504	42.4%	
centralni	ONYX 2	965,684	1,228,402	27.2%	

Tabela 129. Pojedinačni (aktuelizovani) troškovi za slučaj postojeće instalacije – cena el. en. 13 din/kWh

POSTOJEĆA INSTALACIJA - cena el. en. 13 din/kWh							
i	Pl.s. [W]	C _{GRCK} [din]	C _{GRELK} [din]	C _{ink} [din]	C _{elenk} [din]	C _{grk} [din]	Tip balasta
10%	70	18,293	0	76,492	275,928	32,081	EM
		0	147,838	116,803	240,353	17,551	EL
	100	18,781	0	127,876	391,919	34,563	EM
		0	152,004	169,533	340,500	18,909	EL
	150	38,082	0	323,485	1,165,893	75,561	EM
		0	312,406	403,273	1,012,832	20,669	EL
7.5%	70	21,288	0	48,298	208,625	36,194	EM
		0	172,043	73,751	181,727	13,518	EM
	100	21,856	0	80,743	296,324	38,994	EM
		0	176,892	107,046	257,447	14,564	EL
	150	44,318	0	204,254	881,512	85,248	EM
		0	363,556	254,633	765,786	15,919	EL
5%	70	27,657	0	30,168	159,298	45,613	EM
		0	223,520	46,067	138,761	10,437	EL
	100	28,395	0	50,434	226,263	49,142	EM
		0	229,819	66,863	196,577	11,244	EL
	150	57,578	0	127,581	673,092	107,432	EM
		0	472,334	159,049	584,727	12,291	EL

Može se zaključiti da su u svim analiziranim slučajevima aktuelizovani troškovi značajno veći u slučaju svetiljki sa elektronskim balastima (razlike su nešto manje u slučaju centralnog rasporeda stubova). Analizom pojedinačnih aktuelizovanih vrednosti u tabelama 123, 125, 127 i 129, može se videti da su značajne razlike u troškovima posledica velikih troškova zamene elektronskih balasta nakon 10 godina, dok su sve ostale vrednosti ujednačene.

Može se zaključiti da je velika razlika u ceni između elektromagnetske predspojne opreme i elektronskih balasta (četvorostruko veće cene) odlučujući faktor koji zamenu konvencionalne predspojne opreme čini neopravdanom sa ekonomskog aspekta!

5.2. NOVOPROJEKTOVANA INSTALACIJA JAVNOG OSVETLJENJA

Jedina razlika u analizi novoprojektovanih instalacija u odnosu na postojeće sastoji se u uvažavanju mogućnosti smanjenja preseka kablova. Pretpostavlja se da su prilikom izrade projekta neke nove instalacije JO korišćene svetiljke sa elektromagnetskim predspojnim uređajima i da je primenom elektronskih balasta moguće za jedan stepen smanjiti presek napojnih kablova, a da se uslovi rada (sa stanovišta pada napona i efikasnosti zaštite) ne promene. Na taj način je moguće ostvariti određene investicione uštede. Poređenje se vrši na isti način kao u slučaju postojećih instalacija, ali se u inicijalne troškove uključuju i cene napojnih kablova (polaganje kablova neće biti predmet ove analize, jer se može uzeti da su troškovi polaganja kablova isti u oba slučaja). Pošto je metoda aktuelizacije troškova primenjena na slučaj jednog stuba (objašnjeno u prethodnom delu), može se uzeti da uz taj stub ide ona dužina kabla koja je potrebna da se on poveže sa sledećim stubom $((L+2)m$ - uzeto je u obzir povezivanje na RP ploču). Investicioni troškovi se mogu izračunati pomoću formule [43, 44]:

$$C_{in} = k \cdot (C_{sv} + C_{l,s} + C_{msv}) + (L+2) \cdot C_k, \quad (41)$$

u kojoj je:

- $(L+2)$ dužina kabla između priključaka na RP pločama dva susedna stuba, i
- C_k cena napojnog kabla po metru.

Korišćeni su primeri dati u tabeli 130, uz pretpostavku da je broj stubova nepromenjen u slučaju smanjenja preseka kablova (objašnjeno u prethodnom poglavlju - u analizi se uzima manji broj stubova). Uvažavajući izvođačku praksu, u varijanti primene elektromagnetskih balasta analizirane su dve situacije sa aluminijumskim (preseki 35mm^2 i 25mm^2) i jedna sa bakarnim kablovima (presek 16mm^2), budući da su aluminijumski kablovi u praksi mnogo više zastupljeni. Posebno se to odnosi na aluminijumske kablove preseka 25mm^2 , koji su prvi izbor za većinu instalacija JO.

Tabela 130. Saobraćajne situacije na koje je primenjena metoda aktuelizacije troškova

SNAGA IZVORA	RASPORED STUBOVA	RASPON L1 [m]	EM BALASTI	EL BALASTI MANJI PRESEK	TIP KABLA PRE SMANJENJA PRESEKA
			n	n	
70W	JEDNOSTRANI	23	43	43	PPOO-Y-4x16mm ² (Cu)
100W	JEDNOSTRANI	27	36	35	PPOO-AY-4x35mm ² (Al)
150W	CENTRALNI	40	23	21	PPOO-AY-4x25mm ² (Al)

Prema podacima dobijenim od Fabrike kablova u Zaječaru (FKZ), veleprodajne cene kablova razmatranih u slučajevima na koje je primenjena metoda aktuelizacije troškova dati su u tabeli 131.

Tabela 131. Veleprodajne cene kablova dobijene u FKZ

TIP KABLA	C _k [din/m]
PP00-Y-4x10mm ²	371.34
PP00-Y-4x16mm ²	602.12
PP00-AY-4x16mm ²	111.61
PP00-AY-4x25mm ²	150.00
PP00-AY-4x35mm ²	220.10

Ostali podaci bitni za analizu dati su u tabeli 132.

Tabela 132. Veličine potrebne za primenu metode aktuelizacije troškova

TIP SVETILJKE	RASPORED STUBOVA	STUB [m]	k	P [W]	P _{LEM} [W]	P _{IEL} [W]	C _{msv} [din]	C _{icl} [din]	T _{god} [h]	C _v + C _{ch} [din]	C _{vc} + C _{chc} [din]	C _{VEL} + C _{chEL} [din]
NANO 1	JEDNOSTRANI	5	1	70	92.3	80.4	1400	100	4015	800	950	950
IPSO	JEDNOSTRANI	7	1	100	131.1	113.9	1400	100	4015	800	950	950
ONYX 2	CENTRALNI	10	2	150	195	169.4	1400	100	4015	800	950	950

Za tri izabrana slučaja saobraćajnice (tabela 130) izračunavaju se ukupni (svedeni) troškovi po stubnom mestu za sve tri vrednosti stope aktuelizacije i period eksploatacije od T = 20 godina.

U tabelama 133-140 dati su ukupni i pojedinačni aktuelizovani troškovi i u slučaju upotrebe elektromagnetskih i u slučaju upotrebe elektronskih predspojnih uređaja, za različite vrednosti stope aktuelizacije i različite cene električne energije, kao i procentualne razlike ukupnih troškova za eksploatacioni period od 20 godina.

Tabela 133. Ukupni (aktuelizovani) troškovi za slučaj novoprojektovane instalacije – cena el. en. 6.08 din/kWh

NOVOPROJEKTOVANA INSTALACIJA - cena el. en. 6.08 din/kWh					
Raspored	Tip svetiljke	Ukupni (aktuelizovani)		$\frac{C_2 - C_1}{C_1} \cdot 100$	i [%]
		C ₁ EM	C ₂ EL		
jednostrani	NANO 1	357,184	457,058	28.0%	10
jednostrani	IPSO	407,459	528,960	29.8%	
centralni	ONYX 2	1,024,791	1,241,578	21.2%	
jednostrani	NANO 1	267,295	383,740	43.6%	7.5
jednostrani	IPSO	307,295	437,385	42.3%	
centralni	ONYX 2	772,857	1,012,173	31.0%	
jednostrani	NANO 1	217,881	369,552	69.6%	5
jednostrani	IPSO	250,728	411,406	64.1%	
centralni	ONYX 2	624,107	929,584	48.9%	

Tabela 134. Pojedinačni (aktuelizovani) troškovi za slučaj novoprojektovane instalacije – cena el. en. 6.08 din/kWh

NOVOPROJEKTOVANA INSTALACIJA - cena el. en. 6.08 din/kWh							
i	Pl.s. [W]	C _{GRCK} [din]	C _{GRELK} [din]	C _{ink} [din]	C _{elenk} [din]	C _{grk} [din]	Tip balasta
10%	70	18,293 0	0 147,838	177,761 147,838	129,049 111,302	32,081 17,551	EM EL
	100	18,781 0	0 152,004	170,817 354,539	183,298 157,678	34,563 18,909	EM EL
	150	38,082 0	0 312,406	365,868 434,809	545,279 473,694	75,561 20,669	EM EL
7.5%	70	21,288 0	0 172,043	112,241 113,186	97,572 84,992	36,194 13,518	EM EM
	100	21,856 0	0 176,892	107,857 125,524	138,588 120,406	38,994 14,564	EM EL
	150	44,318 0	0 363,556	231,015 274,545	412,277 358,152	85,248 15,919	EM EL
5%	70	27,657 0	0 223,520	70,108 95,683	74,503 64,257	45,613 10,437	EM EL
	100	28,395 0	0 229,819	67,370 78,405	105,821 91,938	49,142 11,244	EM EL
	150	57,578 0	0 472,334	144,297 171,487	314,800 273,472	107,432 12,291	EM EL

Tabela 135. Ukupni (aktuelizovani) troškovi za slučaj novoprojektovane instalacije – cena el. en. 9 din/kWh

NOVOPROJEKTOVANA INSTALACIJA - cena el. en. 9 din/kWh					
Raspored	Tip svetiljke	Ukupni (aktuelizovani)		$\frac{C_2 - C_1}{C_1} \cdot 100$	i [%]
		C ₁ EM	C ₂ EL		
jednostrani	NANO 1	419,162	511,045	21.9%	10
jednostrani	IPSO	495,490	605,442	22.2%	
centralni	ONYX 2	1,286,668	1,469,075	14.2%	
jednostrani	NANO 1	314,155	424,559	35.1%	7.5
jednostrani	IPSO	373,854	495,212	32.5%	
centralni	ONYX 2	970,858	1,184,180	22.0%	
jednostrani	NANO 1	253,662	400,720	58.0%	5
jednostrani	IPSO	301,550	455,560	51.1%	
centralni	ONYX 2	775,294	1,060,923	36.8%	

Tabela 136. Pojedinačni (aktuelizovani) troškovi za slučaj novoprojektovane instalacije – cena el. en. 9 din/kWh

NOVOPROJEKTOVANA INSTALACIJA - cena el. en. 9 din/kWh							
i	Pl.s. [W]	C _{GRCK} [din]	C _{GRELK} [din]	C _{ink} [din]	C _{elenk} [din]	C _{grk} [din]	Tip balasta
10%	70	18,293 0	0 147,838	177,761 179,258	191,027 166,398	32,081 17,551	EM EL
	100	18,781 0	0 152,004	170,817 198,798	271,329 235,731	34,563 18,909	EM EL
	150	38,082 0	0 312,406	365,868 434,809	807,157 701,191	75,561 20,669	EM EL
7.5%	70	21,288 0	0 172,043	112,241 113,186	144,432 125,811	36,194 13,518	EM EM
	100	21,856 0	0 176,892	107,857 125,524	205,147 178,232	38,994 14,564	EM EL
	150	44,318 0	0 363,556	231,015 274,545	610,278 530,159	85,248 15,919	EM EL
5%	70	27,657 0	0 223,520	70,108 70,698	110,284 96,065	45,613 10,437	EM EL
	100	28,395 0	0 229,819	67,370 78,405	156,643 136,092	49,142 11,244	EM EL
	150	57,578 0	0 472,334	144,297 171,487	465,987 404,811	107,432 12,291	EM EL

Tabela 137. Ukupni (aktuelizovani) troškovi za slučaj novoprojektovane instalacije – cena el. en. 11 din/kWh

NOVOPROJEKTOVANA INSTALACIJA - cena el. en. 11 din/kWh					
Raspored	Tip svetiljke	Ukupni (aktuelizovani)		$\frac{C_2 - C_1}{C_1} \cdot 100$	i [%]
		C ₁ EM	C ₂ EL		
jednostrani	NANO 1	461,612	548,022	18.7%	10
jednostrani	IPSO	555,785	657,826	18.4%	
centralni	ONYX 2	1,466,036	1,624,896	10.8%	
jednostrani	NANO 1	346,251	452,517	30.7%	7.5
jednostrani	IPSO	419,442	534,819	27.5%	
centralni	ONYX 2	1,106,475	1,301,994	17.7%	
jednostrani	NANO 1	278,169	422,068	51.7%	5
jednostrani	IPSO	336,360	485,803	44.4%	
centralni	ONYX 2	878,847	1,150,881	31.0%	

Tabela 138. Pojedinačni (aktuelizovani) troškovi za slučaj novoprojektovane instalacije – cena el. en. 11 din/kWh

NOVOPROJEKTOVANA INSTALACIJA - cena el. en. 11 din/kWh							
i	Pl.s. [W]	C _{GRCK} [din]	C _{GRELK} [din]	C _{ink} [din]	C _{elenk} [din]	C _{grk} [din]	Tip balasta
10%	70	18,293 0	0 147,838	177,761 179,258	233,477 203,376	32,081 17,551	EM EL
	100	18,781 0	0 152,004	170,817 198,798	331,624 288,116	34,563 18,909	EM EL
	150	38,082 0	0 312,406	365,868 434,809	986,525 857,012	75,561 20,669	EM EL
7.5%	70	21,288 0	0 172,043	112,241 113,186	176,528 153,769	36,194 13,518	EM EM
	100	21,856 0	0 176,892	107,857 125,524	250,735 217,840	38,994 14,564	EM EL
	150	44,318 0	0 363,556	231,015 274,545	745,895 647,972	85,248 15,919	EM EL
5%	70	27,657 0	0 223,520	70,108 70,698	134,791 117,413	45,613 10,437	EM EL
	100	28,395 0	0 229,819	67,370 78,405	191,453 166,335	49,142 11,244	EM EL
	150	57,578 0	0 472,334	144,297 171,487	569,540 494,769	107,432 12,291	EM EL

Tabela 139. Ukupni (aktuelizovani) troškovi za slučaj novoprojektovane instalacije – cena el. en. 13 din/kWh

NOVOPROJEKTOVANA INSTALACIJA - cena el. en. 13 din/kWh					
Raspored	Tip svetiljke	Ukupni (aktuelizovani)		$\frac{C_2 - C_1}{C_1} \cdot 100$	i [%]
		C ₁ EM	C ₂ EL		
jednostrani	NANO 1	504,062	585,000	16.1%	10
jednostrani	IPSO	616,081	710,211	15.3%	
centralni	ONYX 2	1,645,404	1,780,716	8.2%	
jednostrani	NANO 1	378,347	480,475	27.0%	7.5
jednostrani	IPSO	465,030	574,426	23.5%	
centralni	ONYX 2	1,242,093	1,419,807	14.3%	
jednostrani	NANO 1	302,677	443,415	46.5%	5
jednostrani	IPSO	371,169	516,045	39.0%	
centralni	ONYX 2	982,399	1,240,839	26.3%	

Tabela 140. Pojedinačni (aktuelizovani) troškovi za slučaj novoprojektovane instalacije – cena el. en. 13 din/kWh

NOVOPROJEKTOVANA INSTALACIJA - cena el. en. 13 din/kWh							
i	Pl.s. [W]	C _{GRCK} [din]	C _{GRELK} [din]	C _{ink} [din]	C _{elenk} [din]	C _{grk} [din]	Tip balasta
10%	70	18,293 0	0 147,838	177,761 179,258	275,928 240,353	32,081 17,551	EM EL
	100	18,781 0	0 152,004	170,817 198,798	391,919 340,500	34,563 18,909	EM EL
	150	38,082 0	0 312,406	365,868 434,809	1,165,893 1,012,832	75,561 20,669	EM EL
7.5%	70	21,288 0	0 172,043	112,241 113,186	208,625 181,727	36,194 13,518	EM EM
	100	21,856 0	0 176,892	107,857 125,524	296,324 257,447	38,994 14,564	EM EL
	150	44,318 0	0 363,556	231,015 274,545	881,512 765,786	85,248 15,919	EM EL
5%	70	27,657 0	0 223,520	70,108 70,698	159,298 138,761	45,613 10,437	EM EL
	100	28,395 0	0 229,819	67,370 78,405	226,263 196,577	49,142 11,244	EM EL
	150	57,578 0	0 472,334	144,297 171,487	673,092 584,727	107,432 12,291	EM EL

Može se zaključiti da su u svim analiziranim situacijama aktuelizovani troškovi veći ukoliko se upotrebe elektronski balasti.

Analizom pojedinačnih aktuelizovanih vrednosti u tabelama 134, 136, 138 i 140, može se videti da su (značajne) razlike u troškovima posledica velikih troškova zamene elektronskih balasta nakon 10 godina. Sve ostale vrednosti su vrlo ujednačene ili je prednost na strani elektronskih balasta. Takođe se može primetiti da se sa porastom cene električne energije (što je realno, imajući u vidu da je cena električne energije u Srbiji među najnižima u regionu) smanjuje razlika u troškovima svetiljke sa elektromagnetskim i elektronskim balastom.

Može se zaključiti da je velika razlika u ceni između elektromagnetske predspojne opreme i elektronskih balasta (četvorostruko veće cene) odlučujući faktor koji zamenu konvencionalne predspojne opreme čini neopravdanom sa ekonomskog aspekta!

6. ZAKLJUČCI

Zbog visoke energetske efikasnosti i dugog veka trajanja, poslednjih decenija natrijumovi izvori visokog pritiska nametnuli su se kao najbolje rešenje u instalacijama JO u kojima nema frekventnog pešačkog saobraćaja (pešacima je potrebna odlična reprodukcija boja koju natrijumovi izvori ne mogu da obezbede). Sve vreme, stabilan rad natrijumovih izvora svetlosti obezbeđivala je elektromagnetska prespojna oprema. Elektromagnetska prigušnica za ograničavanje struje sijalice, upaljač za njeno startovanje i kondenzator za popravku faktora snage predstavljali su neizbežnu opremu svake svetiljke sa natrijumovim izvorima. Razvoj prekidačke elektronike i njena primena u tehnici osvetljenja doveli su do pojave elektronskih balasta. Proizvođači su novi balast predstavili kao značajno efikasnije rešenje od dotadašnjeg, pre svega sa stanovišta pojednostavljenja električnog kola sijalice (jedan uređaj objedinjuje funkcije kompletne elektromagnetske predspojne opreme i stvara manje gubitke) i efikasnijeg rada sijalice (veći svetlosni fluks, blaži start, faktor snage blizak jedinici, održavanje konstantne snage u širem naponskom opsegu, duži vek trajanja...).

Predmetna analiza je imala za cilj da ispita da li je elektronski balast zaista efikasnije rešenje, i to kako sa tehničkog, tako i sa ekonomskog aspekta. Imajući u vidu da nema dovoljno stručne literature koja se bavi poređenjem balasta za natrijumove izvore, išlo se na stranu sigurnosti, tj. uzete su u obzir samo one prednosti elektronskog balasta koje se mogu utvrditi (gubici, faktor snage, održavanje konstantne snage u širem naponskom opsegu) ili uzeti kao vrlo verovatne (duži vek sijalice, znajući da elektronski balasti obezbeđuju stabilniji rad bez većih naponskih pikova i tako čuvaju svetlosni izvor). Nasuprot tome, za životni vek elektronskih balasta je uzeta vrednost od 10 godina (česta preporuka u stručnoj literaturi), iako neki renomirani proizvođači tvrde da njihovi elektronski balasti mogu trajati i preko 15 godina u normalnim radnim uslovima. Za faktor snage uzeta je vrednost 0.95, iako se kod gotovo svih proizvođača ona kreće u opsegu od 0.97 do 0.99. Može se zaključiti da su za potrebe predmetne analize uzete nepovoljnije vrednosti određene poređenjem iskustava iz prakse i kataloških podataka renomiranih proizvođača.

Uvažavajući sve navedene karakteristike i procene, izabrani su kriterijumi prema kojima će se porediti rad instalacije JO sa elektromagnetskom i elektronskom predspojnom opremom.

Prvi kriterijum za poređenje bio je *uticaj starenja delova svetiljke na njene električne karakteristike*.

Predmetna analiza je rađena uz pretpostavku da životni vek električnih komponenti u svetiljci iznosi:

- elektronski balast – 10 godina
- elektromagnetski balast – 20 godina
- kondenzator – 10 godina
- upaljač – 20 godina
- sijalica – 4 godine pri radu sa elektromagnetskim, a 5 godina pri radu sa elektronskim balastom
- ostali delovi svetiljke – 20 godina.

Poznavajući životni vek svake od električnih komponenti u svetiljci, na osnovu programa za simulaciju izvršena je analiza promene električnih parametara svetiljke u toku njenog eksploatacionog perioda od 20 godina (to je period koji je identičan sa prosečnim očekivanim

životnim vekom elektromagnetskih balasta). Korišćen je program za simulaciju *Simulation C2E HID* kompanije Philips.

Na osnovu nezavisno unetih vrednosti mrežnog napona, starosti izvora i starosti kompletne instalacije izračunate su vrednosti struje, faktora snage, snage sijalice i ukupne snage svetiljke za oba tipa balasta. Poređeni su standardni elektromagnetski balast iz familije *BSN* i elektronski balast tipa *PrimaVision SON/CDO*. Za sve tri snage natrijumovih izvora visokog pritiska analizirane u ovom radu (70, 100 i 150W) dobijeni su ujednačeni rezultati, na osnovu kojih su izvedeni sledeći zaključci:

- Posmatrajući srednje vrednosti za period od 20 godina, korišćenjem elektronskog umesto elektromagnetskog balasta moguće je ostvariti uštede u potrošnji električne energije od približno 13%, i
- sa starenjem instalacije faktor snage u slučaju elektromagnetskih balasta opada za 30%, dok je u slučaju elektronskih balasta on praktično nepromenjen tokom perioda od 20 godina. Ako se uzme srednja vrednost za period od 20 godina, ukupna potrošnja reaktivne električne energije biće približno 78% manja u slučaju svetiljke sa elektronskim balastom.

Drugi kriterijum za poređenje bio je *maksimalni dozvoljeni pad napona* na saobraćajnici.

Poređenje elektromagnetskih i elektronskih balasta vršeno je za monofazna, dvofazna i trofazna strujna kola (po 3 primera za svaki tip strujnog kola). Dakle, izabrano je 9 tipičnih profila i za svaki od njih su urađeni fotometrijski proračuni sa ciljem da za potrebe dalje analize obezbede samo jedan izlazni podatak - *rastojanje između susednih stubova (raspon), L*. U analizi su tretirani jednostrani i centralni raspored, jer se, sa stanovišta izračunavanja pada napona, preostala dva moguća rasporeda stubova (dvostrani naspramni i cik-cak raspored) mogu podvesti pod jednostrani raspored.

Za svaku od 9 izabranih saobraćajnica izvršeni su proračuni pada napona, sa ciljem da se za svaku kombinaciju preseka kabla i faktora snage odredi maksimalan dozvoljeni broj stubova po jednoj napojnoj deonici, n_{max} , za koji pad napona neće preći maksimalno dozvoljeni pad napona, Δu_{max} (u predmetnoj analizi je uzeto da on iznosi 5%).

Analizom tabela datih u ovom poglavlju analize, moglo se zaključiti da se u slučaju upotrebe elektronskih balasta *dužina napajane trase, tj. maksimalno dozvoljeni broj stubova na deonici, može povećati za čak 50%*.

Na osnovu maksimalno dozvoljenog broja stubova na jednoj izvodnoj deonici (n_{max}), određenog prema kriterijumu maksimalno dozvoljenog pada napona (Δu_{max}), određuje se maksimalna vrednost fazne struje (I_f) napojne deonice (na izlazu iz razvodnog ormara). Ona je neophodna za poređenje prema trećem kriterijumu.

Treći kriterijum za poređenje bila je *efikasnost delovanja TN sistema zaštite*.

Efikasnost TN sistema zaštite ispitivala se za svaku od 9 izabranih saobraćajnica, kao i za sve preseke kablova i faktore snage. Rezultati proračuna su dati tabelarno, a analiza je pokazala da za veliki broj situacija (gotovo u svim slučajevima) nulovanje ne predstavlja efikasnu zaštitu. Zato je bilo neophodno smanjivati dužinu napajane trase (broj stubova n), do vrednosti za koju zaštita postaje efikasna.

Rezultati dobijeni primenom trećeg kriterijuma gotovo da su poništili prednosti elektronskih balasta dobijene na osnovu primene drugog kriterijuma - neophodno je drastično smanjiti dužinu napajane trase (broj stubova n) da bi se zadovoljio kriterijum efikasnosti TN sistema zaštite. Iako su proračuni rađeni za sva tri sistema napajanja, uzeto je da je *trofazni sistem napajanja* (iz razloga nevedenih u poglavlju 4.3) *referentni za dalju analizu*.

Na osnovu dobijenih rezultata zaključeno je da su *dužine napajanih trasa određene upotrebom elektronskog umesto elektromagnetskog balasta tek neznatno veće* – iznose do 13.7% (najbolji rezultati su dobijeni za najmanje preseke - za bakarne provodnike za presek 10 mm^2 , a za aluminijumske provodnike za presek 16 mm^2).

Četvrti kriterijum za poređenje bila je *efikasnost zamene predspojne opreme u slučaju postojeće instalacije JO*.

Pod postojećom instalacijom se smatrala ona kod koje nije moguće promeniti presek napojnih kablova i raspored stubova. Praktično, poređenje se svodilo na poređenje svetiljki sa elektromagnetskom predspojnom opremom i elektronskim balastom, bez produženja trase ili promene tipa ili preseka provodnika. Rezultati su dati tabelarno, sa padovima napona i u slučaju elektromagnetskog i u slučaju elektronskog balasta (broj stubova je isti kao i za elektromagnetski balast, jer se zadržava postojeći strujni krug). Poređenje je izvršeno za period od 4 godine (period jednak grupnoj zameni izvora u slučaju elektromagnetskih predspojnih uređaja). Izvedeni su sledeći zaključci:

- Zahvaljujući osobini elektronskog balasta da u širem naponskom opsegu održava snagu sijalice konstantnom, *ostvariće se prosečne uštede u potrošnji električne energije (za sve snage izvora) od 10.8%, i*
- Vrednost maksimalnog dozvoljenog pada napona (koji se ima na poslednjoj svetiljci na napajanoj trasi) neće se osetnije smanjiti nakon zamene elektromagnetske opreme elektronskim balastima.

Peti kriterijum za poređenje bila je *efikasnost zamene predspojne opreme u slučaju novoprojektovane instalacije JO*.

Novoprojektovana instalacija JO je ona kod koje je moguće menjati presek napojnih kablova ukoliko se za tim ukaže potreba. Da bi se komparativna analiza mogla izvršiti, bilo je neophodno pretpostaviti da su tehnički parametri (raspored i visina stubova, tip svetiljke i snaga izvora) isti pri upotrebi oba tipa predspojnih uređaja, a da je u slučaju primene elektronskog balasta moguće zadovoljiti oba ograničavajuća uslova (pad napona i efikasnost TN sistema zaštite) i nakon smanjenja preseka napojnog kabla za jedan stepen.

Moglo se zaključiti da se broj stubova malo smanjuje ukoliko se koriste kablovi manjeg preseka (za 70W - nema smanjenja, za 100W smanjenje iznosi 11.1%, a za 150W – 8.7%). Osvrnuvši se i na ostale vrednosti iz tabela, moglo se zaključiti da se *dužina napajane deonice najčešće smanjuje približno 10% u odnosu na dužinu trase sa elektromagnetskim balastima i većim presekom kabla*.

Nije bilo moguće sa sigurnošću reći da li je instalacija sa elektronskim balastima isplativa (primenjena na slučajeve postojećih i novoprojektovanih instalacija), pa se očekivalo da će odgovor na to pitanje dati analiza instalacija JO sa ekonomskog aspekta.

Šesti kriterijum za poređenje bio je ekonomski aspekt (primenjena je *metoda aktuelizacije troškova*).

Metoda aktuelizacije troškova je opšte prihvaćena metoda koja se može primeniti i za ekonomsko poređenje elektromagnetskih i elektronskih balasta u instalacijama JO.

Razmatrali su se ukupni troškovi unutar istog amortizacionog perioda T, koji uključuju kako inicijalne (investicione), tako i troškove eksploatacije. Budući da su mnogi od tih troškova praktično jednaki u oba slučaja (cena projekta, transformatorske stanice, razvodnih ormara, testiranja, montaže opreme...), jedino su poređene cene svetiljki (razlika je u ceni ugrađene predspojne opreme) i kablova različitog preseka (samo u slučajevima novoprojektovanih instalacija).

Pošto je u oba slučaja koja tretira predmetna analiza (sa elektromagnetskim i elektronskim balastima) pretpostavljena ista dužina napajane trase (broj stubova na njoj), *metodu aktuelizacije troškova bilo je moguće primeniti na nivou samo jednog stuba*.

Metoda je bila primenjena na 3 različite postojeće i 3 novoprojektovane deonice. Prilikom implementacije metode aktuelizacije troškova pretpostavljeno je da se zamenom preseka kabla ne skraćuje napajana trasa. Takva aproksimacija olakšava analizu jer ne tretira pitanje transformatorske stanice. Važno je napomenuti da je kroz primenu metode aktuelizacije troškova bio zastupljen i prvi kriterijum, tj. uzeto je da tokom eksploatacionog ciklusa snaga kompletne svetiljke raste sa starenjem delova instalacije. U analizi su korišćene ekvivalentne (srednje) vrednosti snaga (uz pretpostavku da snaga raste približno linearno sa starenjem) elektromagnetskih i elektronskih predspojnih uređaja za ceo eksploatacioni ciklus, a uvažena je i činjenica da je ekvivalentna snaga u slučaju elektronskih balasta 13% manja nego u slučaju elektromagnetskih predspojnih uređaja.

U analizi je usvojen napred obrazložen period eksploatacije instalacije JO od 20 godina.

Saglasno savremenim ekonomskim izvorima, stopa aktuelizacije se nalazi između 5% i 10%. Zbog toga su u okviru ekonomske analize razmatrane tri različite stope aktuelizacije: $i = 5\%$, 7.5% i 10% . Analiza je rađena za 4 različite cene električne energije, trenutnu (6.08 din/kWh) i za tri moguće cene u bliskoj budućnosti (9 din/kWh, 11 din/kWh i 13 din/kWh).

Zaključeno je da su aktuelizovani troškovi (značajno) veći u slučaju svetiljki sa elektronskim balastima. Analizom pojedinačnih aktuelizovanih vrednosti u odgovarajućim tabelama, moglo se videti da su razlike u ukupnim troškovima posledica velikih troškova zamene elektronskih balasta nakon 10 godina. Sve ostale vrednosti su ujednačene ili je prednost na strani elektronskih balasta. Takođe se može primetiti da se sa porastom cene električne energije razlike ukupnih troškova smanjuju.

Dakle, rezultati dobijeni primenom metode aktuelizacije troškova pokazuju da je, i u slučaju postojeće i u slučaju novoprojektovane instalacije, *implementacija elektronskih balasta neopravdana sa ekonomskog stanovišta*.

Može se zaključiti da je *velika razlika u ceni između elektromagnetske predspojne opreme i elektronskih balasta (četvorostruko veće cene) odlučujući faktor koji zamenu konvencionalne predspojne opreme čini neopravdanom sa ekonomskog aspekta*.

Generalni zaključak koji se nameće je da se rezultati predmetne analize bitno razlikuju po pitanju tehničke i ekonomske opravdanosti zamene predspojne opreme.

Ako se izdvoji samo deo analize koji se bavi tehničkim aspektima, može se zaključiti da su elektronski balasti bolje rešenje. Njih karakterišu manji gubici, održavanje konstantne snage i

svetlosnog fluksa tokom vremena i u širokom naponskom opsegu, kao i mogućnost smanjenja preseka napojnih kablova u slučaju novoprojektovanih saobraćajnica.

Ipak, dobijeni rezultati su pomalo neočekivani. Iako se računalo s tim da će efikasnost TN sistema zaštite biti odlučujući faktor u određivanju dužine napajane trase, očekivalo se da će dužina deonice ipak biti osetno veća kada se u svetiljkama nalaze elektronski balasti.

Činjenica je da pad napona u instalacijama JO često nije u granicama dozvoljenog. U Beogradu se, na primer, dešava da na rubnim mestima (na periferiji grada) napon iznosi samo 185V, čemu odgovara pad napona od 19.6 %. Pri tako niskom naponu svetlosni fluks izvora iznosi samo 45% svetlosnog fluksa pri nominalnom naponu (na dijagramu prikazanom na slici 13 može se videti da za pad napona od 10% smanjenje svetlosnog fluksa iznosi 28%, a ekstrapolacijom je određena gore navedena vrednost). Ovde se više ne postavlja pitanje ekonomske opravdanosti rekonstrukcije instalacije JO, jer je sa stanovišta fotometrije postojeće stanje neprihvatljivo. Pošto nije moguće na drugi način popraviti stanje takvih instalacija (ne razmatra se skraćivanje napajane trase, kao ni povećanje preseka napojnih kablova), zamenom elektromagnetskih predspojnih uređaja elektronskim moguće je značajno popraviti naponsko stanje u električnom kolu sijalice. Većina balasta je konstruisana tako da održe nepromenjen rad sijalice u naponskom opsegu od $\pm 10\%$, kao i njeno dalje funkcionisanje (sa promenjenim performansama) do vrednosti napona od 180V. Kolika može da bude razlika u svetlosnom fluksu pri većim padovima napona može da pokaže sledeći primer. Ako je pad napona 13% (što srećemo u praksi), snaga sijalice sa EM balastom smanjuje se za 20%, a fluks za 37% [9]. Nasuprot ovome, elektronski balast održava snagu i svetlosni fluks praktično konstantnim (nominalnim) za sve padove napona do 13% ($U=200V$).

U radu sa elektromagnetskim balastima starenje izvora svetlosti nije podjednako, već oni na početku strujnog kruga (manji pad napona) stare brže od onih sa kraja strujnog kruga (veći pad napona). Iz tog razloga se prilikom grupne zamene sijalica neopravdano zameni jedan broj sijalica koji bi se mogao još iskoristiti. Kod elektronskih balasta, snaga sijalice se održava konstantnom u širem naponskom opsegu nego u slučaju EM balasta, pa izvori stare podjednako i grupna zamena je u potpunosti opravdana.

I nakon što su sve gore pobrojane tehničke prednosti elektronskih balasta uvrštene u metodu aktuelizacije troškova, rezultati su išli u prilog instalacijama sa elektromagnetskom predspojnom opremom. Niti u jednom od analiziranih slučajeva elektronski balasti nisu predstavljali ekonomski opravdano rešenje.

Bitno je napomenuti da je poređena visokokvalitetna oprema najpoznatijih proizvođača, kao i da je moguće pronaći opremu zadovoljavajućeg kvaliteta koja je i za 20-30% jeftinija. Takođe je bitno reći da korišćene cene svetiljki sa pripadajućom opremom nisu veleprodajne, već su dobijene od proizvođača svetiljki. Budući da svaki proizvođač svetiljki svoj proizvod plasira na tržište kao integrisan sistem (sa predspojnom opremom, a vrlo često i sa izvorima svetlosti), korišćenje ovih cena u analizi smatra se opravdanim.

Ipak, nakon 10 godina rada instalacije predviđena je zamena elektronskih balasta koji ovog puta komercijalno nisu deo svetiljke. Ukoliko bi investitor (JKP „Javno osvetljenje“) nabavljao elektronske balaste direktno od proizvođača (ili distributera za srpsko tržište), zbog niže cene bi se moglo ostvariti smanjenje troškova održavanja i do 30%. Kada se još jednom pogledaju rezultati dobijeni metodom aktuelizacije troškova, vidi se da postoje situacije u kojima je razlika u aktuelizovanim troškovima instalacije dovoljno mala, pa bi se smanjenjem troškova održavanja situacija mogla obrnuti. Jednostavnije rečeno, ukoliko cena elektronskih balasta padne za barem 30% (prema nekim istraživanjima, očekivano je da to bude i 50% u bliskoj budućnosti), realno je očekivati da instalacija JO sa elektronskim balastima postane pravi izbor.

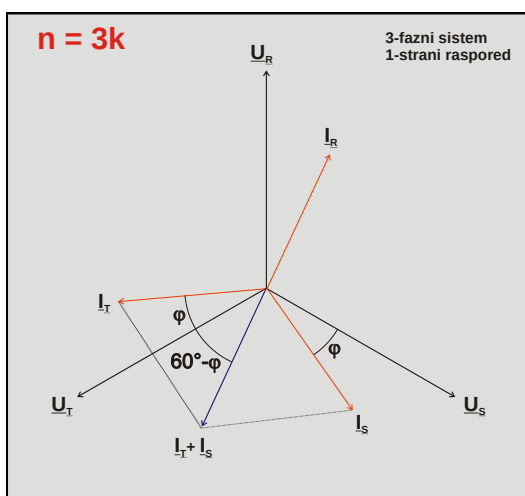
7. DODATAK

TAČNE FORMULE ZA PRORAČUN PADA NAPONA [41]

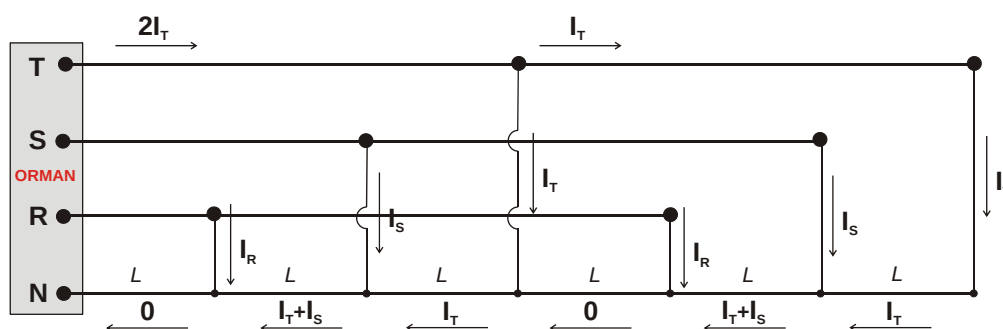
Sa aspekta napajanja, izdvajaju se *jednostrani* i *centralni raspored stubova* (cik-cak i dvostrani naspramni raspored sastoje se od dva niza jednostrano postavljenih stubova). Kod jednostranog rasporeda svetiljke se ciklično priključuju na faze R, S i T kod trofaznog, na dve od ove tri faze kod dvofaznog, odnosno na jednu od tri faze kod monofaznog sistema napajanja. Kod centralnog rasporeda stubovi nose po dve svetiljke, koje se ciklično priključuju na faze R i S, R i T, i S i T kod trofaznog, odnosno na dve od te tri faze kod dvofaznog sistema napajanja.

TROFAZNI SISTEM I JEDNOSTRANI RASPORED STUBOVA

Izvođenje formule za $n=3k$ stubova



Fazorski dijagram 1. Trofazni sistem, jednostrani raspored, slučaj $n=3k$ stubova



Slika 1. Struje u trofaznom sistemu, jednostrani raspored, slučaj $n=3k$ stubova ($k=2$)

Sa slike 1 se vidi da za **pad napona na faznom provodniku faze T** važi:

$$\Delta U_T (\%) = 100 \cdot \frac{(1 + 2 + \dots + k) \cdot I_T \cdot 3 \cdot L \cdot (r \cdot \cos \varphi + x \cdot \sin \varphi)}{U_f}$$

$$\Delta U_T (\%) = 100 \cdot \frac{3 \cdot k \cdot (k + 1) \cdot I \cdot L \cdot (r \cdot \cos \varphi + x \cdot \sin \varphi)}{2 \cdot U_f} \quad (I_T = I)$$

$$\Delta U_T(\%) = 100 \cdot \frac{n \cdot (n+3) \cdot I \cdot L \cdot (r \cdot \cos \varphi + x \cdot \sin \varphi)}{6 \cdot U_f}$$

Na nultom provodniku postoje tri vrste deonica: samo sa strujom I_T , sa fazorskim zbirom struja I_T i I_S , i bez struje. Na osnovu slike 1 i fazorskog dijagrama 1 može da se zaključi da ukupan pad napona na svim deonicama prve i druge vrste redom iznosi:

$$\Delta U_{N1}(\%) = 100 \cdot \frac{k \cdot I \cdot L \cdot (r \cdot \cos \varphi + x \cdot \sin \varphi)}{U_f} \text{ i}$$

$$\Delta U_{N2}(\%) = 100 \cdot \frac{k \cdot I \cdot L \cdot (r \cdot \cos(60^\circ - \varphi) - x \cdot \sin(60^\circ - \varphi))}{U_f}$$

Primenom sledećih identiteta:

$$\cos \varphi + \cos(60^\circ - \varphi) = \sqrt{3} \cdot \cos(30^\circ - \varphi)$$

$$\sin \varphi - \sin(60^\circ - \varphi) = -\sqrt{3} \cdot \sin(30^\circ - \varphi)$$

dobija se **formula za ukupan pad napona na nultom provodniku:**

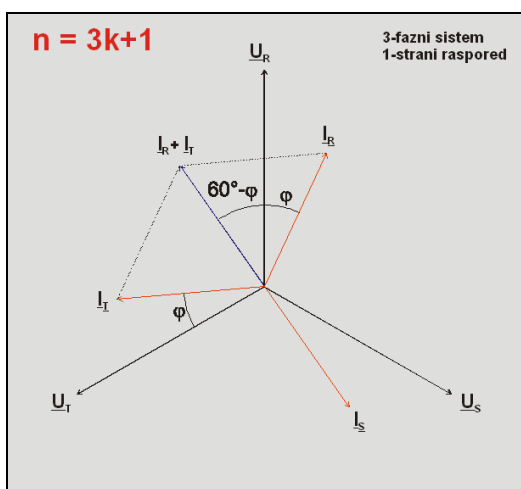
$$\Delta U_N(\%) = \Delta U_{N1}(\%) + \Delta U_{N2}(\%) = 100 \cdot \frac{\sqrt{3} \cdot k \cdot I \cdot L \cdot (r \cdot \cos(30^\circ - \varphi) - x \cdot \sin(30^\circ - \varphi))}{U_f}$$

$$\Delta U_N(\%) = 100 \cdot \frac{\sqrt{3} \cdot n \cdot I \cdot L \cdot (r \cdot \cos(30^\circ - \varphi) - x \cdot \sin(30^\circ - \varphi))}{3 \cdot U_f}$$

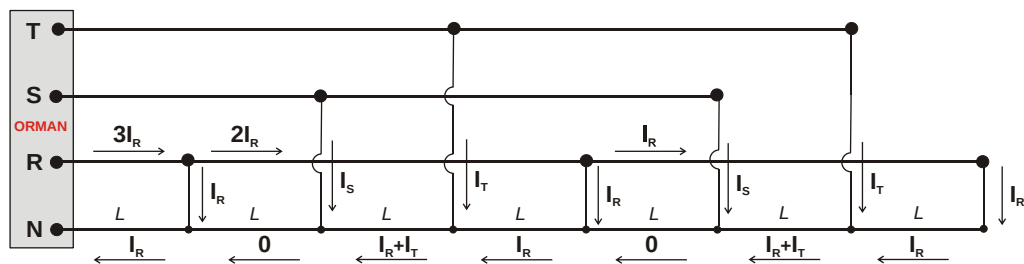
Ukupan pad napona iznosi:

$$\Delta U(\%) = \Delta U_T(\%) + \Delta U_N(\%)$$

Izvođenje formule za $n=3k+1$ stubova



Fazorski dijagram 2. Trofazni sistem, jednostrani raspored, slučaj $n=3k+1$ stubova



Slika 2. Struje u trofaznom sistemu, jednostrani raspored, slučaj $n=3k+1$ stubova ($k=2$)

Za **najveći pad napona (na faznom provodniku faze R)** važi (slika 2):

$$\Delta U_R(\%) = 100 \cdot \frac{3 \cdot k \cdot (k+1) \cdot I \cdot L \cdot (r \cdot \cos \varphi + x \cdot \sin \varphi)}{2 \cdot Uf} +$$

$$+ 100 \cdot \frac{(k+1) \cdot I \cdot L \cdot (r \cdot \cos \varphi + x \cdot \sin \varphi)}{Uf}$$

$$\Delta U_R(\%) = 100 \cdot \frac{(n+1) \cdot (n+2) \cdot I \cdot L \cdot (r \cdot \cos \varphi + x \cdot \sin \varphi)}{6 \cdot Uf}$$

Za **pad napona na nultom provodniku** važi (slika 2 i fazorski dijagram 2, uz analogiju sa prethodnim slučajem):

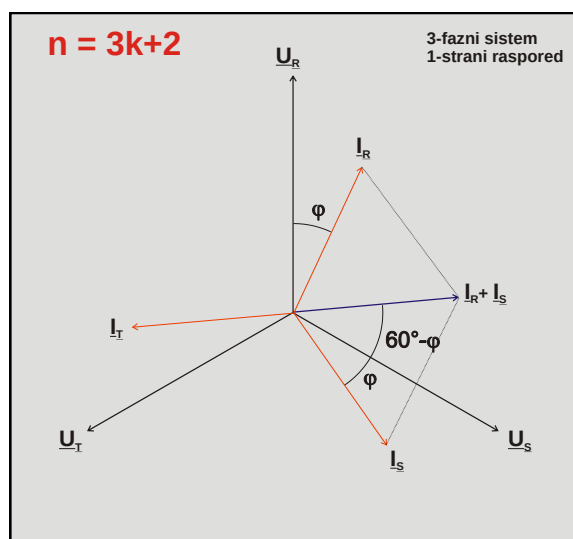
$$\Delta U_N(\%) = 100 \cdot \frac{\sqrt{3} \cdot (n-1) \cdot I \cdot L \cdot (r \cdot \cos(30^\circ - \varphi) - x \cdot \sin(30^\circ - \varphi))}{3 \cdot Uf} +$$

$$+ 100 \cdot \frac{I \cdot L \cdot (r \cdot \cos \varphi + x \cdot \sin \varphi)}{Uf}$$

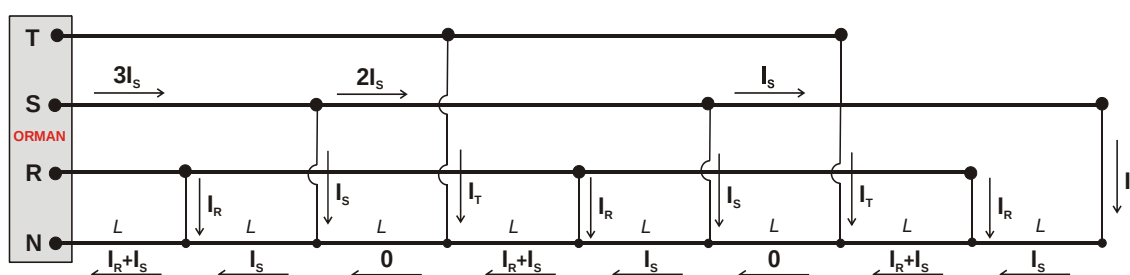
Ukupan pad napona iznosi:

$$\Delta U(\%) = \Delta U_R(\%) + \Delta U_N(\%)$$

Izvođenje formule za $n=3k+2$ stubova



Fazorski dijagram 3. Trofazni sistem, jednostrani raspored, slučaj $n=3k+2$ stubova



Slika 3. Struje u trofaznom sistemu, jednostrani raspored, slučaj $n=3k+2$ stubova ($k=2$)

Najveći pad napona u ovom slučaju postoji **na faznom provodniku faze S** (slika 3). On iznosi:

$$\Delta U_S (\%) = 100 \cdot \frac{3 \cdot k \cdot (k+1) \cdot I \cdot L \cdot (r \cdot \cos \varphi + x \cdot \sin \varphi)}{2 \cdot U_f} + 100 \cdot \frac{2 \cdot (k+1) \cdot I \cdot L \cdot (r \cdot \cos \varphi + x \cdot \sin \varphi)}{U_f}$$

$$\Delta U_S (\%) = 100 \cdot \frac{(n+1) \cdot (n+2) \cdot I \cdot L \cdot (r \cdot \cos \varphi + x \cdot \sin \varphi)}{6 \cdot U_f}$$

Za **pad napona na nultom provodniku** (slika 3 i fazorski dijagram 3) dobija se:

$$\Delta U_N (\%) = 100 \cdot \frac{\sqrt{3} \cdot (n+1) \cdot I \cdot L \cdot (r \cdot \cos(30^\circ - \varphi) - x \cdot \sin(30^\circ - \varphi))}{3 \cdot U_f}$$

Ukupan pad napona iznosi:

$$\Delta U (\%) = \Delta U_S (\%) + \Delta U_N (\%)$$

Analogno se dobija da pad napona na faznom provodniku faze S iznosi:

$$\Delta U_S (\%) = 100 \cdot \frac{n \cdot (n+1) \cdot I \cdot L \cdot (r \cdot \cos \varphi + x \cdot \sin \varphi)}{3 \cdot U_f},$$

tako da je sa aspekta pada napona kritična svetiljka na poslednjem stubu priključena na fazu T.

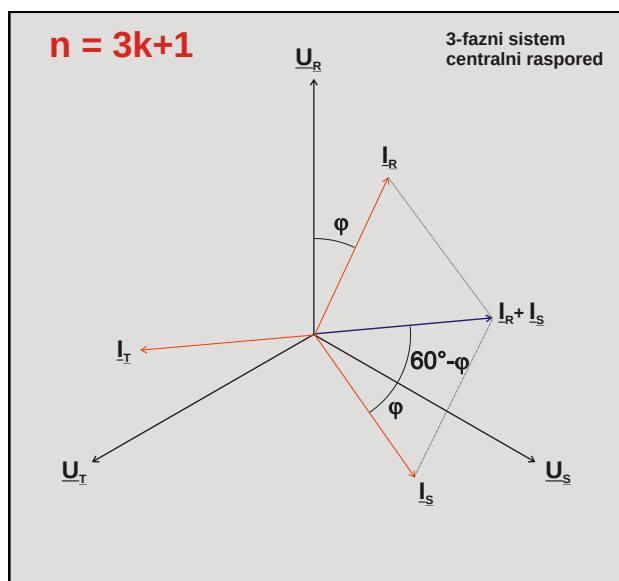
Formula za izračunavanje **pada napona na nultom provodniku** identična je formuli za pad napona na nultom provodniku kod jednostranog rasporeda sa $n=3k$ stubova, što se vidi sa slika 1 i 4 i fazorskih dijagrama 1 i 4. Ona glasi:

$$\Delta U_N (\%) = 100 \cdot \frac{\sqrt{3} \cdot n \cdot I \cdot L \cdot (r \cdot \cos(30^\circ - \varphi) - x \cdot \sin(30^\circ - \varphi))}{3 \cdot U_f}$$

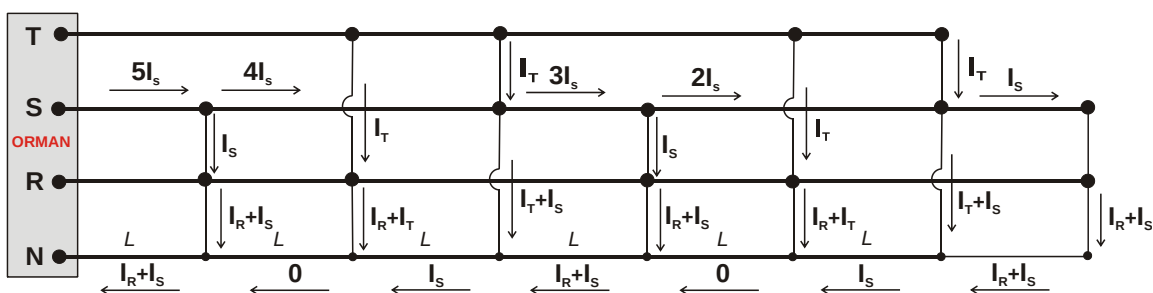
Ukupan pad napona iznosi:

$$\Delta U (\%) = \Delta U_T (\%) + \Delta U_N (\%)$$

Izvođenje formule za $n=3k+1$ stubova



Fazorski dijagram 5. Trofazni sistem, centralni raspored, slučaj $n=3k+1$ stubova



Slika 5. Struje u trofaznom sistemu, centralni raspored, slučaj $n=3k+1$ stubova ($k=2$)

Sa slike 5 se vidi da je najveći pad napona na poslednjoj svetiljci priključennoj na fazu S ili fazu R. Primenom postupka koji je analogan prethodnom, dobija se da ***najveći pad napona odgovara poslednjoj svetiljci priključennoj na fazu S***. On iznosi:

$$\Delta U_s (\%) = 100 \cdot \frac{n \cdot (n+2) \cdot I \cdot L \cdot (r \cdot \cos \varphi + x \cdot \sin \varphi)}{3 \cdot U_f}$$

(u formuli za $\Delta U_R(\%)$ umesto $n \cdot (n+2) = n^2 + 2n$ pojavljuje se $n^2 + n + 1 \leq n^2 + 2n$).

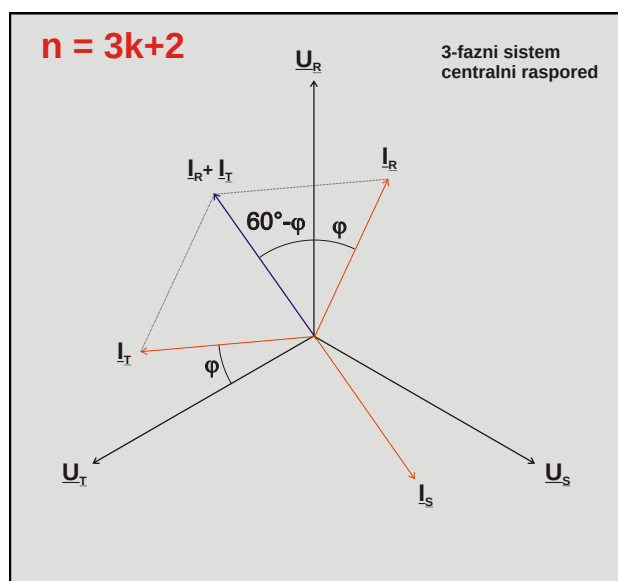
Analogno se dobija da ***pad napona na nultom provodniku*** iznosi:

$$\Delta U_N (\%) = 100 \cdot \frac{\sqrt{3} \cdot (n-1) \cdot I \cdot L \cdot (r \cdot \cos(30^\circ - \varphi) - x \cdot \sin(30^\circ - \varphi))}{3 \cdot Uf} + 100 \frac{I \cdot L \cdot (r \cdot \cos(60^\circ - \varphi) - x \cdot \sin(60^\circ - \varphi))}{Uf}$$

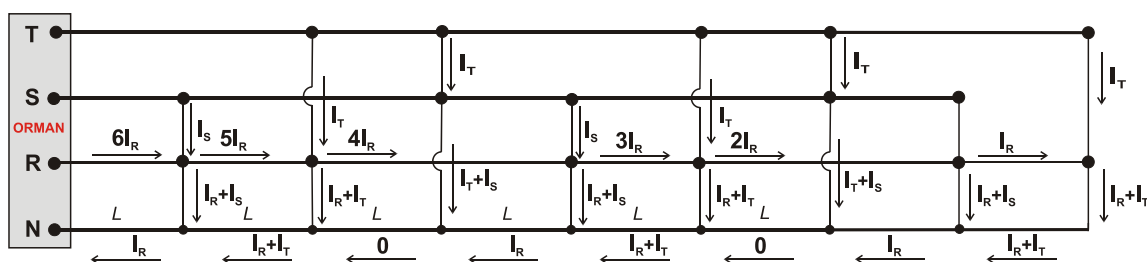
Ukupan pad napona je:

$$\Delta U(\%) = \Delta U_s(\%) + \Delta U_N(\%)$$

Izvođenje formule za $n=3k+2$ stubova



Fazorski dijagram 6. Trofazni sistem, centralni raspored, slučaj $n=3k+2$ stubova



Slika 6. Struje u trofaznom sistemu, centralni raspored, slučaj $n=3k+2$ stubova ($k=2$)

Sa slike 6 se vidi da je **najveći pad napona** na poslednjoj svetiljci priključennoj na fazu T ili fazu R. Kako je $(n+1)^2 > n \cdot (n+1)$, to je pad napona

$$\Delta U_R(\%) = 100 \cdot \frac{(n+1)^2 \cdot I \cdot L \cdot (r \cdot \cos \varphi + x \cdot \sin \varphi)}{3 \cdot U_f}$$

veći od pada napona $\Delta U_T(\%)$.

Po analogiji sa prethodnim slučajevima, **pad napona na nultom provodniku** iznosi:

$$\Delta U_N(\%) = 100 \cdot \frac{\sqrt{3} \cdot (n+1) \cdot I \cdot L \cdot (r \cdot \cos(30^\circ - \varphi) - x \cdot \sin(30^\circ - \varphi))}{3 \cdot U_f}$$

Ukupan pad napona je:

$$\Delta U(\%) = \Delta U_R(\%) + \Delta U_N(\%)$$

Opšte formule

Na osnovu prethodnih izvođenja mogu da se napišu opšte formule za izračunavanje padova napona za trofazni jednostrani i trofazni centralni sistem javnog osvetljenja:

Jednostrani raspored:

Pad napona na faznom provodniku iznosi:

$$\Delta U_F(\%) = 100 \cdot \frac{(n+1) \cdot (n+2) \cdot I \cdot L \cdot (r \cdot \cos \varphi + x \cdot \sin \varphi)}{6 \cdot U_f}$$

Pad napona na nultom provodniku iznosi:

$$\Delta U_N(\%) = 100 \cdot \frac{\sqrt{3} \cdot (n+1) \cdot I \cdot L \cdot (r \cdot \cos(30^\circ - \varphi) - x \cdot \sin(30^\circ - \varphi))}{3 \cdot U_f}$$

Centralni raspored:

Pad napona na faznom provodniku iznosi:

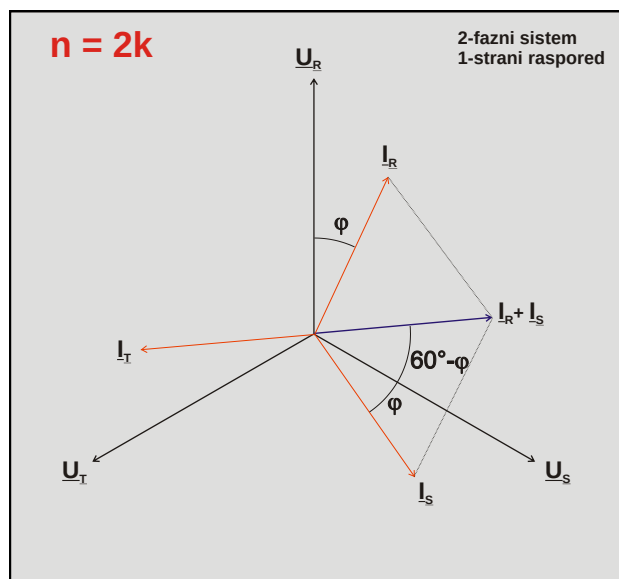
$$\Delta U_F(\%) = 100 \cdot \frac{(n+1)^2 \cdot I \cdot L \cdot (r \cdot \cos \varphi + x \cdot \sin \varphi)}{3 \cdot U_f}$$

Pad napona na nultom provodniku iznosi:

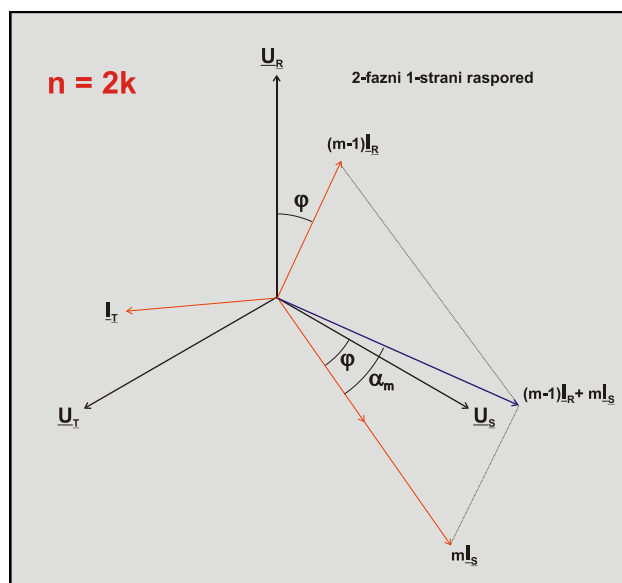
$$\Delta U_N(\%) = 100 \cdot \frac{\sqrt{3} \cdot (n+1) \cdot I \cdot L \cdot (r \cdot \cos(30^\circ - \varphi) - x \cdot \sin(30^\circ - \varphi))}{3 \cdot U_f}$$

DVOFAZNI SISTEM I JEDNOSTRANI RASPORED STUBOVA

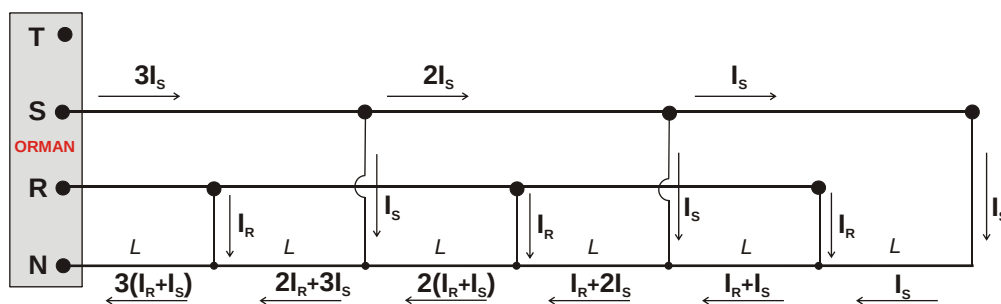
Izvođenje formule za $n=2k$ stubova



Fazorski dijagram 7. Dvofazni sistem, jednostrani raspored, $n=2k$ stubova, određivanje ΔU_{N1}



Fazorski dijagram 8. Dvofazni sistem, jednostrani raspored, $n=2k$ stubova, određivanje ΔU_{N2}



Slika 7. Struje u dvofaznom sistemu, jednostrani raspored, slučaj $n=2k$ stubova ($k=3$)

Sa slike 7 se vidi da je veći **pad napona na faznom provodniku faze S**. On iznosi:

$$\Delta U_s(\%) = 100 \cdot \frac{(1+2+3+\dots+k) \cdot I \cdot 2 \cdot L \cdot (r \cdot \cos \varphi + x \cdot \sin \varphi)}{Uf}$$

$$\Delta U_s(\%) = 100 \cdot \frac{k \cdot (k+1) \cdot I \cdot L \cdot (r \cdot \cos \varphi + x \cdot \sin \varphi)}{Uf}$$

$$\Delta U_s(\%) = 100 \cdot \frac{n \cdot (n+2) \cdot I \cdot L \cdot (r \cdot \cos \varphi + x \cdot \sin \varphi)}{4 \cdot Uf}$$

Sa slike 7 i fazorskih dijagrama 7 i 8 vidi se da **pad napona na nultom provodniku** može da se podeli na dve komponente. Prva iznosi (slika 7 i fazorski dijagram 7):

$$\Delta U_{N1}(\%) = 100 \cdot \frac{(1+2+\dots+k) \cdot I \cdot L \cdot (r \cdot \cos(60^\circ - \varphi) - x \cdot \sin(60^\circ - \varphi))}{Uf}$$

$$\Delta U_{N1}(\%) = 100 \cdot \frac{n \cdot (n+2) \cdot I \cdot L \cdot (r \cdot \cos(60^\circ - \varphi) - x \cdot \sin(60^\circ - \varphi))}{8 \cdot Uf}$$

Druga komponenta je određena formulom (slika 7 i fazorski dijagram 8):

$$\Delta U_{N2}(\%) = 100 \cdot \frac{\sum_{m=1}^k \sqrt{m^2 - m + 1} \cdot I \cdot L \cdot (r \cdot \cos(\alpha_m - \varphi) - x \cdot \sin(\alpha_m - \varphi))}{Uf}$$

$$\Delta U_{N2}(\%) = 100 \cdot \frac{\sum_{m=1}^{\frac{n}{2}} \sqrt{m^2 - m + 1} \cdot I \cdot L \cdot (r \cdot \cos(\alpha_m - \varphi) - x \cdot \sin(\alpha_m - \varphi))}{Uf},$$

jer je:

$$|(m-1) \cdot \underline{I}_R + m \cdot \underline{I}_S| = \sqrt{(m-1)^2 + m^2 - 2 \cdot m \cdot (m-1) \cdot \cos 60^\circ} = \sqrt{m^2 - m + 1}$$

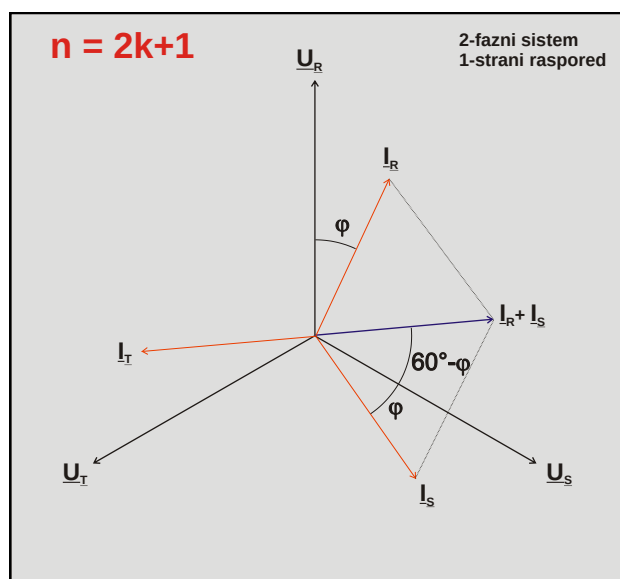
Sa fazorskog dijagrama 8 se takođe može dobiti da je:

$$\cos \alpha_m = \frac{m^2 - m + 1 + m^2 - (m-1)^2}{2 \cdot m \cdot \sqrt{m^2 - m + 1}} = \frac{m+1}{2 \cdot \sqrt{m^2 - m + 1}}$$

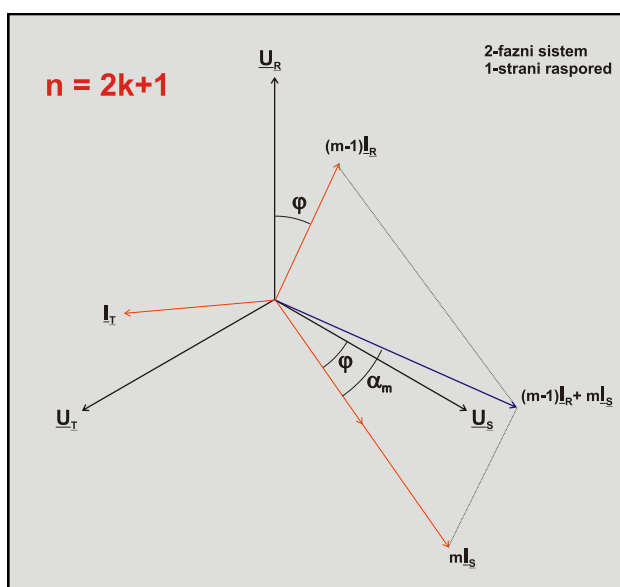
Ukupan pad napona kod dvofaznog sistema sa jednostranim rasporedom $n=2k$ stubova iznosi:

$$\Delta U(\%) = \Delta U_s(\%) + \Delta U_N(\%) = \Delta U_s(\%) + \Delta U_{N1}(\%) + \Delta U_{N2}(\%)$$

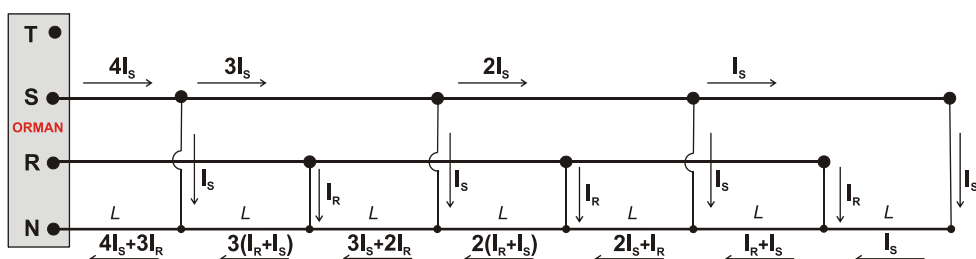
Izvođenje formule za $n=2k+1$ stubova



Fazorski dijagram 9. Dvofazni sistem, jednostrani raspored, $n=2k+1$ stubova, određivanje ΔU_{N1}



Fazorski dijagram 10. Dvofazni sistem, jednostrani raspored, $n=2k+1$ stubova, određivanje ΔU_{N2}



Slika 8. Struje u dvofaznom sistemu, jednostani raspored, slučaj $n=2k+1$ stubova ($k=3$)

Sa slike 8 se vidi da je veći **pad napona na faznom provodniku faze S**. On iznosi:

$$\Delta U_s (\%) = 100 \cdot \frac{((1 + 2 + \dots + k) \cdot 2 + k + 1) \cdot I \cdot L \cdot (r \cdot \cos \varphi + x \cdot \sin \varphi)}{Uf}$$

$$\Delta U_s (\%) = 100 \cdot \frac{(n + 1)^2 I \cdot L \cdot (r \cdot \cos \varphi + x \cdot \sin \varphi)}{4 \cdot Uf}$$

Analogno slučaju $n=2k$, korišćenjem slike 8 i fazorskih dijagrama 9 i 10, dobija se:

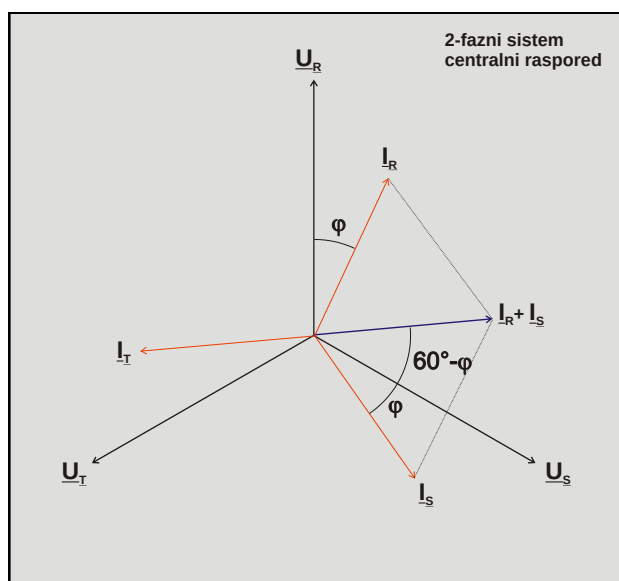
$$\Delta U_{N1} (\%) = 100 \cdot \frac{(n - 1) \cdot (n + 1) \cdot I \cdot L \cdot (r \cdot \cos(60^\circ - \varphi) - x \cdot \sin(60^\circ - \varphi))}{8 \cdot Uf}$$

$$\Delta U_{N2} (\%) = 100 \cdot \frac{\sum_{m=1}^{\frac{n+1}{2}} \sqrt{m^2 - m + 1} \cdot I \cdot L \cdot (r \cdot \cos(\alpha_m - \varphi) - x \cdot \sin(\alpha_m - \varphi))}{Uf}$$

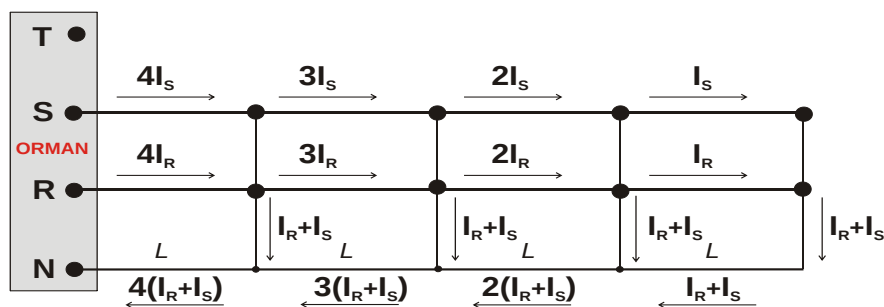
Ukupan pad napona iznosi:

$$\Delta U (\%) = \Delta U_s (\%) + \Delta U_{N1} (\%) + \Delta U_{N2}$$

DVOFAZNI SISTEM I CENTRALNI RASPORED STUBOVA



Fazorski dijagram 11. Dvofazni sistem, centralni raspored stubova



Slika 9. Struje u dvofaznom sistemu, centralni raspored stubova

Kod dvofaznog sistema sa centralnim rasporedom n stubova **pad napona na faznom provodniku faze S** iznosi:

$$\Delta U_S (\%) = 100 \cdot \frac{(1 + 2 + \dots + n) \cdot I \cdot L \cdot (r \cdot \cos \varphi + x \cdot \sin \varphi)}{Uf}$$

$$\Delta U_S (\%) = 100 \cdot \frac{n \cdot (n + 1) \cdot I \cdot L \cdot (r \cdot \cos \varphi + x \cdot \sin \varphi)}{2 \cdot Uf}$$

Pad napona na nultom provodniku (slika 9 i fazorski dijagram 11) iznosi:

$$\Delta U_N (\%) = 100 \cdot \frac{(1 + 2 + \dots + n) \cdot I \cdot L \cdot (r \cdot \cos(60^\circ - \varphi) - x \cdot \sin(60^\circ - \varphi))}{Uf}$$

$$\Delta U_N (\%) = 100 \cdot \frac{n \cdot (n + 1) \cdot I \cdot L \cdot (r \cdot \cos(60^\circ - \varphi) - x \cdot \sin(60^\circ - \varphi))}{2 \cdot Uf}$$

Ukupan pad napona iznosi:

$$\Delta U (\%) = 100 \cdot \frac{\sqrt{3} \cdot n \cdot (n + 1) \cdot I \cdot L \cdot (r \cdot \cos(30^\circ - \varphi) - x \cdot \sin(30^\circ - \varphi))}{2 \cdot Uf}$$

MONOFAZNI SISTEM

Korišćena je standardna formula:

$$\Delta U (\%) = 100 \cdot \frac{n \cdot (n + 1) \cdot (n + 2) \cdot I \cdot L \cdot (r + x \cdot \tan \varphi)}{3 \cdot Uf}$$

DOKAZ DA U STRUJI SIJALICE POSTOJE SAMO NEPARNI HARMONICI

Stav:

Funkcija koja ima stepen simetrije takav da je $f(t+T/2) = -f(t)$ može imati samo neparne harmonike.

Dokaz:

Kada se funkcija “f” predstavi Furijeovim redom:

$$f(t) = \sum a_n \cos(n\omega t) + b_n \sin(n\omega t)$$

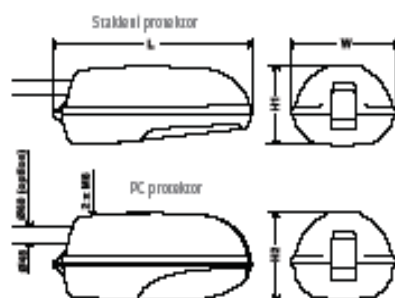
Stepen simetrije je opisan sa:

$$\begin{aligned} f\left(t + \frac{T}{2}\right) &= \sum a_n \cos\left[n\omega\left(t + \frac{T}{2}\right)\right] + b_n \sin\left[n\omega\left(t + \frac{T}{2}\right)\right] = \\ &= \sum a_n \cos(n\omega t + n\pi) + b_n \sin(n\omega t + n\pi) = \\ &= \sum (-1)^n a_n \cos(n\omega t) + (-1)^n b_n \sin(n\omega t) = (-1)^n f(t) \end{aligned}$$

Odakle se vidi da je opisani stepen simetrije zadovoljen samo kad je “n” neparan broj.

8. PRILOZI

(IZ KATALOGA PROIZVOĐAČA SVETILJKI, IZVORA SVETLOSTI I PREDSPOJNIH UREĐAJA)



	Nano 1	Nano 2
L	382 mm	440 mm
H1	139 mm	169 mm
H2	145 mm	175 mm
W	190 mm	215 mm



NANO
Dizajn: Alain Baré

SCHREDER
THE GREEN LIGHT

NANO

Dve veličine

Sijalice: natrijume visokog pritiska, metal-halogene i metal-halogene sa keramičkim gorionikom do 100W, kompakt-fluo do 42W, LED (Nano 2).

Stepen zaptivenosti cele svetiljke IP 66

IK 08

Protektor od ravnog stakla ili polikarbonata

miniR® (mini-reflektor)

Održavanje bez upotrebe alata

Boja: AKZO 900 sanded.
Bilo koja RAL ili AKZO boja dostupna
na zahtev.

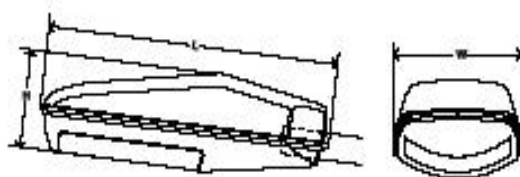
Nano je super-kompaktna svetiljka modernog dizajna i vrhunskih performansi. Razvoj i primena novih tehnologija su omogućili vrhunski kvalitet po veoma pristupačnoj ceni, a elegantan dizajn prati trend koji estetiku postavlja kao važan kriterijum u odabiru opreme za osvetljenje.

Snažni materijali, aluminijum i staklo (ili polikarbonat), visoki stepen zaštite kompletne svetiljke IP 66 i inovativna fotometrija novog miniR® ogledala garantuju pouzdanost i kvalitet.

Familija Nano predstavlja korak u miniaturizaciji svetiljki za masovnu ugradnju. Male dimenzije omogućuju smanjenje troškova materijala i transporta, a dodatnu ekonomičnost obezbeđuju jedno-stavni procesi montaže svetiljke i zamene elektrokomponenti bez upotrebe alata.

Na raspolaganju je i model sa LED izvorima.





	Onyx 2	Onyx 3
L	732 mm	843 mm
H	208 mm	268 mm
W	332 mm	392 mm



ONYX

ONYX

Dve veličine

Sijalice: natrijumove visokog pritiska do 600W, metal-halogene do 400 W.

IP 66 Sealsafe®

Integrirani sistem za horizontalnu i vertikalnu montažu

Podešavanje položaja sijalice u optičkom bloku

Reciklabilni materijali

Održavanje bez upotrebe alata

Boja: RAL 7040

Bilo koja RAL ili AKZO boja dostupna na zahtev.

Familija svetiljki Onyx namenjena je javnom osvetljenju saobraćajnica svih kategorija. Veoma visok stepen zaštite (IP 66 Sealsafe®), snažni materijali od kojih su izrađene i izuzetne fotometrijske performanse garantuju kvalitetno osvetljenje uz smanjene troškove održavanja.

Svetiljka Onyx se sastoji od kućišta i poklopca od aluminijumske legure livene pod pritiskom i obojene elektrostatičkim postupkom bojom u prahu. Optički blok čini zaptivena celina: polirano i anodno zaštićeno ogledalo od aluminijuma i protektor od termički i mehanički ojačanog stakla (IK 08). Predspojni uređaj (IP 43) je montiran na jednostavno izmenljivom nosaču. Svetiljka Onyx ima integrirani sistem za horizontalnu i vertikalnu montažu.

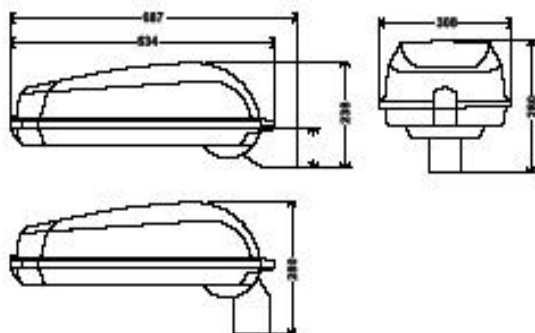
Optimalna kontrola fluksa se postiže korišćenjem plitkog stakla sa malim unutrašnjim prelamanjem svetlosti. Zakrivljenost protektora svetiljke Onyx omogućava da se sijalica spusti, a kao rezultat toga dobija se šira fotometrijska raspodela koja omogućava ekonomičniji razmak između stubova.



Petlja kod Beogradske Arene



Petlja Klačnica – Banja Luka



IPSO

SCHREDER THE GREEN LIGHT

IPSO

Sijalice: natrijumove visokog pritiska i metal-halogene do 250W, LED.

Optički blok IP 66 Sealsafe®

Zaptivenost cele svetiljke IP 66

Integrirani sistem za horizontalnu i vertikalnu montažu sa podešavanjem nagiba

Ravno staklo (IK 08)

Kompaktan dizajn

Podešavanje položaja sijalice u optičkom bloku

Održavanje bez upotrebe alata

Boja: RAL 7040

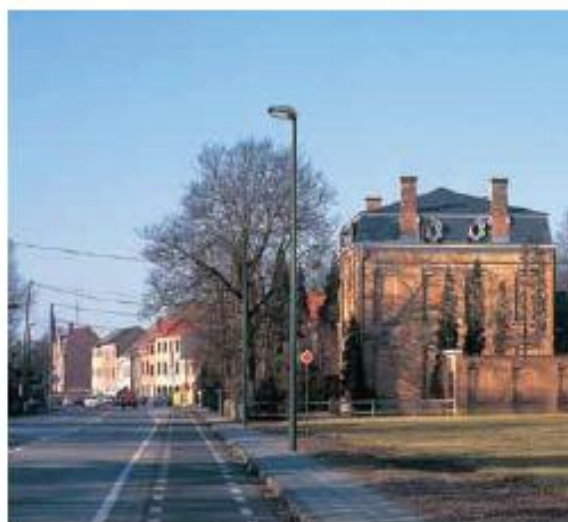
Bilo koja RAL ili AKZO boja dostupna na zahtev.

Svetiljka Ipso je namenjena javnom osvetljenju gradskih saobraćajnica, kao i magistralnih i regionalnih puteva. Odlikuju je jednostavan dizajn i vrhunske fotometrijske performanse, ali osnovna prednost je vrlo visoki stepen zaptivenosti cele svetiljke, IP 66.

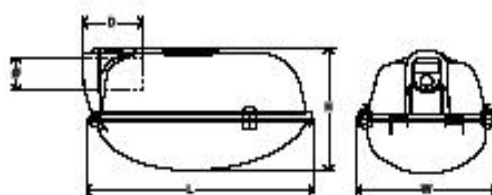
Veoma kompaktnog dizajna, svetiljka Ipso je izrađena od snažnih materijala, aluminijuma i stakla. Optički blok je Salsafe® sistema što, uz visok stepen zaptivenosti kućišta, predstavlja dvostruku zaštitu. Svetiljka Ipso ima integrirani sistem za horizontalnu i vertikalnu montažu, koji omogućava i podešavanje nagiba svetiljke.

Minimalne potrebe za održavanjem i precizna fotometrija koja obezbeđuje optimalan učinak u skladu sa karakteristikama površine koju treba osvetliti čine svetiljku Ipso pravim izborom u skladu sa principima energetske efikasnosti.

Na raspolaganju je i model sa LED izvorima.



OPALO



	Opalo 1	Opalo 3
W	255 mm	325 mm
L	400 mm	600 mm
H	210 mm	295 mm
Ø	48 mm	60 mm
D	100 mm	115 mm

OPALO

Svetiljke familije Opalo predstavljaju jedinstveni koncept kvalitetnog osvetljenja po pristupačnoj ceni. Sa dve veličine na raspolaganju familija Opalo će uspešno odgovoriti na zahteve svih kategorija gradskih i ostalih saobraćajnica.

Svetiljka Opalo se sastoji od kućišta od aluminijuma livenog pod pritiskom, poliranog i anodno zaštićenog ogledala od duboko izvučenog aluminijuma i protektora od polikarbonata. Step en zaptivenosti cele svetiljke je IP 65.

Svetiljka Opalo je predviđena za horizontalnu montažu na liru, a na raspolaganju su i dodatni nosač za vertikalnu montažu na stub i zidni nosač.

Familija za javno osvetljenje Opalo predstavlja jedinstvenu liniju ekonomičnih i kvalitetnih svetiljki, čijom primenom je svaka izgradnja i rekonstrukcija javnog osvetljenja pristupačna i lako ostvariva.

Dve veličine

Sijalice: natrijumove visokog pritiska i metal-halogene do 250W, kompakt fluo do 57W.

Ekonomična svetiljka

Zaptivenost cele svetiljke IP 65

Protektor od polikarbonata (IK 08)

Podešavanje položaja sijalice u optičkom bloku

Održavanje bez upotrebe alata

Boja: RAL 7040

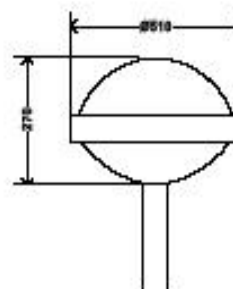
Bilo koja RAL ili AKZO boja dostupna na zahtev.



Jadranska magistrala – Herceg Novi



Javno osvetljenje - Ključ



ARAMIS - SUPTILNA LINIJA

Zbog svog modernog dizajna, svetiljka Aramis i stub Cica predstavljaju savršen par, što ih čini idealnim za svako urbano okruženje.

Kvalitet je garantovan primenom naših tehnoloških i konstrukcionih standarda, kao što su Sealsafe® optički blok, snažni materijali sa visokom otpornošću na vandalizam, održavanje bez upotrebe alata i sl. Ono što svetiljku Aramis čini posebnom su raznovrsne mogućnosti montaže.

Naš predlog: stub Cica je izrađen od anodizovanog ili termolakiranog aluminijuma. Stub se završava ukrasnim prstenom i lirom na koju se montira svetiljka.

Visina montaže: 4 do 6m

Sijalice: natrijume visokog pritiska, metal-halogene i metal-halogene sa keramičkim gorionikom do 150W, Cosmopolis do 140W.

Optički blok IP 66 Sealsafe®

IK 10 (zakrivljeni PC) ili IK 08 (blago zakrivljeno staklo) ili IK 06 (zakrivljeni PMMA)

Održavanje bez upotrebe alata

Boja: Bilo koja RAL ili AKZO boja



Park Univerziteta Crne Gore - Podgorica



SC "Millennium" - Vršac



Product Description

MASTER SON-T PIA Plus

High Pressure Sodium lamp with clear tubular outer bulb, high output and long reliable lifetime

Benefits

- Superior technology results in a long and reliable lifetime, high lumen maintenance and a reliable ignition over lifetime
- High energy efficacy and absence of lead (Pb) makes this a sound environmental offer
- High luminous efficacy makes this the most energy efficient HPS lamp

Features

- Clear tubular outer bulb
- Ceramic discharge tube with Philips Integrated Antenna (PIA) for a long and reliable lifetime
- Robust construction with few welding points is highly vibration- and shock-resistant, further reducing early failures and extending lamp life
- ZrAl getter ensures high lumen maintenance and few early failures
- "Plus" concept with high efficacy translated into high light output
- Completely lead-free lamps

Application

- Road and residential lighting
- Decorative floodlighting, illumination
- Industrial area lighting
- Recreational sports facilities indoor and outdoor
- Horticultural lighting

Warnings and Safety

- Control gear must include end-of-life protection (IEC60662, IEC 62035)

PHILIPS
sense **and** simplicity

HID electronic

PrimaVision SON/CDO



HID-PV

Product Description

- Compact, one-piece, electronic ballasts for high-pressure sodium (SON) and metal halide (CDO) lamps.

Features and Benefits

- Independent of mains-voltage 206-254V
- Constant power regulation over lamp life
- Elimination of all visible lamp flicker
- Increase lamp life up to 30%
- Self-stopping facility prevents cycling of old lamps
- Full protection of ballast and installation against fault conditions
- Rugged design for outdoor use
- Simple installation and cabling

Applications

- Road/tunnel lighting
- Residential lighting
- Suitable for outdoor applications, recommended luminaire classification > IP 23

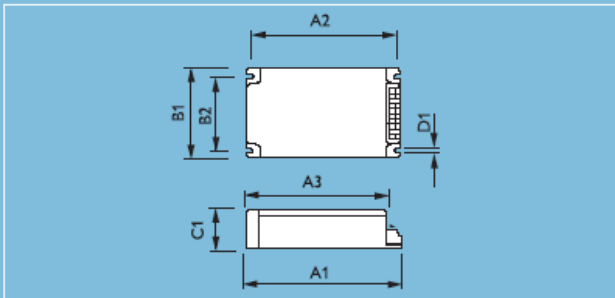
Compliances and approvals HID-gear

HID-electronics	
Safety	EN61347-2-1/2-3/2-9
Performance	EN60927 / EN60929
RFI	EN55015 / EN55022
Harmonic current emissions	EN61000-3-2
EMC immunity	EN61547
Approval marking	KEMA/VDE
CE-marking	
Environmental standard	ISO 14001

www.lampsandgear.philips.com

recommended lamps pag. 2.4

Dimensions in mm



PHILIPS

Ballast type	A1	A2	A3	B1	B2	B3	C1
HID-PV 150 SON / CDO	150	134	136	90	70	4.5	40
HID-PV 100 SON / CDO	150	134	136	90	70	4.5	40
HID-PV 70 SON / CDO	150	134	136	90	70	4.5	40
With strain relief	185	134	136	90	70	4.5	40

HID LAMPS & CONTROL GEAR 2.135



Long-lasting, reliable solution

HID-HeavyDuty BSN semi-parallel for SON/CDO/MH/HPI

Encapsulated electromagnetic copper/iron ballasts for use with an external semi-parallel ignitor for CDM, CDO, MH, HPI (Plus) and SON lamps

Benefits

- Excellent resistance to chemical impact, humid conditions and environmental stress crack
- Long-lasting reliable solution – outstanding product lifetime of 15 years average
- Minimal watt losses thanks to orthocyclic winding process
- Control gear can be installed remotely

Features

- Encapsulated with thermoplastic polyester resin, reinforced with glass fiber
- Equipped with screw terminal blocks as standard; insert contacts available upon request
- Ballasts for alternative mains voltages/frequencies available upon request
- Separate earth terminal (HID 'Heavy Duty')

Application

- Outdoor lighting (most popular application: road and tunnel lighting)

System

- Electromagnetic system requires ballast, ignitor and capacitor
- Semi-parallel circuit: if ballasts with "L" in their description (e.g. BSN 100 L307...) are used, SN(D)... ignitors are required; if ballasts with "K" in their description (e.g. BSN 100 K307...) are used, SK(D)... ignitors are required. Capacitor value to match system power can be found on lamp/ballast combination sheet
- Series circuit: all ballasts are designed to work with series ignitors
- No ignitor needed for SON-I lamps

PHILIPS
sense and simplicity

9. LITERATURA

1. M.B. Kostić, "Vodič kroz svet tehnike osvetljenja", Minel-Schreder, Beograd, 2000.
2. "Application Guide to HID lamp control gear", Philips Lighting, <http://www.scribd.com/doc/20265560/Lighting-Handbook>
3. http://en.wikipedia.org/wiki/Gas-discharge_lamp
4. <http://www.answers.com/topic/sodium-vapor-lamp>
5. http://en.wikipedia.org/wiki/Sodium-vapor_lamp
6. J. Trifunović, "Tehnički, ekonomski i ekološki faktori koji utiču na definisanje optimalne strategije za masovno uvođenje kompaktnih fluorescentnih izvora svetlosti u Srbiji", Magistarski rad, Elektrotehnički fakultet, Beograd, 2008.
7. http://en.wikipedia.org/wiki/Avalanche_diode
8. N. Krivošić, "Pogonske smetnje i uslovi za pravilno funkcionisanje svetlosnih izvora u tehnici osvetljenja", 21. Jugoslavensko savetovanje, Pula, 1990.
9. Philips OEM Catalogue 2008/2009.
10. P. Tant, B. Vanbrabant, J. Driesen, G. Deconinck, "Hot Restrike Characterization of HID Lamps Using a Simple Model", 11th International Symposium on the Science and Technology of Light Sources, Shanghai, China, 2007. http://www.esat.kuleuven.be/electa/publications/fulltexts/pub_1660.pdf
11. V.D. Jovanović, "Električno osvetljenje", Naučna knjiga, Beograd, 1949.
12. J. Melis, "HID ballast overview", 1998, <http://www.ballastdesign.com/overview>
13. Sam's and Don's D-Lamp FAQ, "Gas Discharge Lamps, Ballasts, and Fixtures - Principles of Operation, Circuits, Troubleshooting, Repair Version 1.35", 1999. <http://members.misty.com/don/dschlamp.html#dlodld>
14. ELT katalog, "Ballasts for discharge lamps", 2005.
15. M. Kostić, L. Đokić, N. Hadžiefendić, „Određivanje faktora održavanja prilikom projektovanja osvetljenja saobraćajnica“, Studija ETF-a, 2003.
16. "Metal Halide Lamps – Instructions for the use and application", 2009, www.osram.com
17. "HID lamps – technical information on reducing the wattage", 2009, www.osram.com
18. E. Price, "Magnetic dipoles, hysteresis and core losses", White Paper, Environmental Potentials, Inc., 2006.
19. http://en.wikipedia.org/wiki/Even_and_odd_functions
20. ELTAM Ein Hashofet Ltd., "Electronic Ballast for High Intensity Discharge Lamps (HID)", 2008.
21. http://en.wikipedia.org/wiki/Electrical_ballast
22. <http://en.wikipedia.org/wiki/Transformer>
23. http://sr.wikipedia.org/sr/Prekidački_izvor_napajanja
24. J. Lester, W. Kaiser, A. El-Deib, F. Dawson, "Ballasts and drivers for conventional and solid state light sources", LED Professional Magazine, September, 2010. (Re-publication from the 12th Light Source & 3rd White LED Conference 2010)
25. J.H. Campbell, "Initial characteristics of high-intensity discharge lamps on high-frequency power", IES Transaction, Vol. 64, pp. 711-722, 1969.
26. Y. Jiang, "Three Dimensional Passive Integrated Electronic Ballast for Low Wattage HID Lamps", Blacksburg, VA, 2009. www.scholar.lib.vt.edu/theses/available/etd.../Dissertation_YanJiang_0327.pdf
27. Brazilian Power Electronics Conference COBEP 2005, "Acoustic Resonance Phenomenon in High Intensity Discharge lamps", 2005. <http://www.feng.pucrs.br/~fdosreis/ftp/publicacoes/Conferencias/Cobep/Cobep2005/Revisor/F151Eb4ed8f.pdf>
28. C. H. Lee, "Electronic Ballast (E-B) for HID Lamps – design considerations for robust and high efficient ballast", technical note, <http://www.pwm.pe.kr>

-
29. L.M.F. Morais, P.F. Donoso-Garcia, S.I. Seleme Jr, P. C. Cortizo, "Electronic Ballast for High Pressure Sodium Lamps without Acoustic Resonance via Controlled Harmonic Injection Synthesized with PWM", Industrial Electronics, ISIE 2007. IEEE International Symposium, Vigo (Spain), 2007.
 30. R.E. da Costa, J.S. da Silveira, T.B. Marchesan, A. Campos, R.N. do Prado, "Industrial Electronic Ballast to supply 70 W HPS lamp", VIII Conferencia Internacionales de Aplicaciones Industriales, Pernambuco (Brasil), 2008.
 31. C.M. Huang, T.J. Liang, "A novel constant power control circuit for HID electronic ballast", IEEE Transactions on Power Electronics, Volume 22, Issue 3, IEEE Power Electronics Society, 2007.
 32. <http://sh.wikipedia.org/wiki/Ispravljač>
 33. J. Chen, R. Erickson, D. Maksimović, "Average Switch Modeling of Boundary Conduction Mode DC-to-DC converters", IECON 2001: The 27th Annual Conference of the IEEE Industrial Electronics Society, Colorado (USA), 2001.
 34. http://en.wikipedia.org/wiki/Buck_converter
 35. Z. Salam, "Power Electronics and Drives", version 3, UTM-JB, 2003.
 36. F.J. Díaz, F.J. Azcondo, C. Brañas, R. Casanueva, R. Zane, "Control of low-frequency square-wave electronic ballast with resonant ignition using a dsPIC30F2010", ISIE 2007, pp. 3019 - 3024, 2007.
 37. Philips Powerpoint presentation "Electronic – a look inside", 2010.
 38. "Electronic ballast, Vol. 8, Nr. 1", Rensselaer Polytechnic Institute (NLPPI), 2000, <http://www.lrc.rpi.edu/NLPPI/Online>
 39. F. Tao, "Advanced High-Frequency Electronic Ballasting Techniques for Gas Discharge Lamps", PhD dissertation, Center for Power Electronics Systems, Virginia Tech, 2001.
 40. K. Vajdić, "Osnovne karakteristike i povoljnosti primene elektronskih prigušnica u javnom osvetljenju" Savetovanje "Osvetljenje '09", Divčibare, 2009.
 41. M.B. Kostić, "Relevantni aspekti kvaliteta, energetske efikasnosti, ekonomičnosti i održavanja funkcionalnog javnog osvetljenja", Studija ETF-a, Beograd, 2007.
 42. Philips, »Lighting Manual« (Fifth Edition), Philips Lighting, 1993.
 43. M. Kostić, L. Đokić, N. Hadžiefendić, N. Štrbac-Hadžibegović, "Tehno-ekonomsko poređenje upotrebe natrijumovih izvora visokog pritiska poboljšanih karakteristika (tipa Master) i konvencionalnih natrijumovih izvora visokog pritiska (tipa Pro) u uličnom osvetljenju", Studija ETF-a, Beograd, 2004.
 44. M. Kostić, "Osvetljenje puteva", Minel-Schreder, Beograd, 2008.