

# Viši harmonici kao posledica nelinearnosti predspojnih prigušnica kod svetlosnih izvora

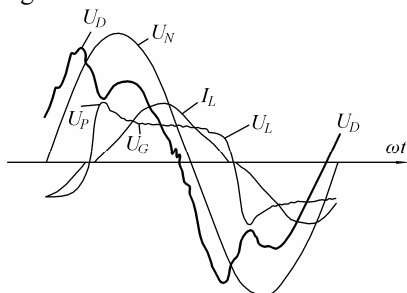
Zorica Bogičević, Slobodan Bjelić

**Sadržaj** — U ovom radu je analizirana pojava viših harmonika nastalih zbog nelinearnih magnetnih karakteristika prigušnica u predspojnim uređajima klasičnih svetlosnih izvora.

**Ključne reči** — Magnetno rasipanje, viši harmonici, prigušnice.

## I. UVOD

KOD svetlosnih izvora koji rade na principu električnog pražnjenja, važnu ulogu vrše predspojni uređaji. Jedna od takvih naprava, koja se zbog svojih dokazanih prednosti veoma često koristi je i prigušnica. Na sl. 1 je prikazan tok ograničenja struje pomoću pravilno izabrane prigušnice.



Sl. 1. Struja sijalice ( $I_L$ ), napon sijalice ( $U_L$ ), napon prigušnice ( $U_D$ ), i tok mrežnog napona ( $U_N$ ) niskonaponske fluorescentne sijalice u zavisnosti od vremena ( $\omega t$ ).

Ako mrežni napon ima sinusoidni oblik, struja sijalice, do određenog kratkog bezstrujnog intervala, ima približno sinusni karakter. Napon između elektroda sijalice poraste nakon bezstrujne pauze na visinu novog paljenja, koji ima veću vrednost od napona gorenja koja se sa manjim padom održava u toku poluperiode. Posle stalnog prolaza kroz nultu vrednost napon poraste na napon ponovnog paljenja u sledećem poluintervalu. Oblik krive struje sijalice ima veliki uticaj na ispravan rad sijalice (pr. kod prigušnica sa malom količinom magnetnog materijala i usled toga sa jakim magnetnim zasićenjem, kriva struje je mnogo oštija, bezstrujna pauza duža a napon ponovnog paljenja mora da bude mnogo veći).

Z. Bogičević, NLB Kasabank, Oslobođenja bb, 38220 Kosovska Mitrovica, Srbija (telefon: 381-63-8167793; faks 381-28-31724; e-mail: zrbogy@gmail.com).

S. Bjelić, Fakultet tehničkih nauka, Kneza Miloša 7, 38220 Kosovska Mitrovica, Srbija; (telefon: 381-63-8822492; faks: 381-18-223383; e-mail: slobodan\_bjelic@yahoo.com).

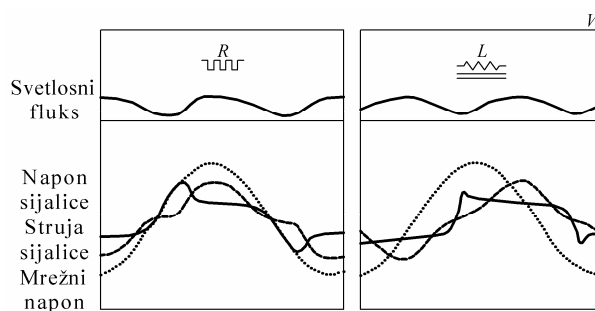
Sa porastom mrežnog napona, napon sijalice opada a struja sijalice raste (ima se negativna karakteristika)  $U_L=f(I_L)$ . Pri padu napona za 10% smanji se svetlosni fluks sijalice sa pražnjenjem za 10-15%, kod sijalice sa metalnim vlaknom za više od dvostruke vrednost.

## II. VIŠI HARMONICI KAO POSLEDICA NELINEARNE KARAKTERISTIKE SVETLOSNIH IZVORA

Univerzalno redno kolo sijalice sa pražnjenjem sa tri moguća karakteristična elementa (sijalica, prigušnica koja sadrži induktivni i omski deo u koga može biti uključena dopunska aktivna otpornost i kondenzator) je korišćeno za analizu. Sa električnog aspekta sijalica takođe sadrži aktivni i reaktivni deo zbog pogodnosti za kasniju analizu kola. Predpostavljena je takođe nelinearnost aktivne otpornosti sijalice. Uključenjem dodatne induktivnosti u kolo, povećava se struja. Ako se pretpostavi da mrežni napon ostaje konstantan, raste pad napona u prigušnici usled povećanja induktivne otpornosti. Zatim poraste i napon na kondenzatoru koji uzrokuje povećanje kapacitivne reaktivne struje.

Sve ovo ukazuje na jednaku težinu zahteva za ograničenjem struje pomoću otpornika jer i jedni i drugi pored nelinearne karakteristike same sijalice, takođe unose sopstvene nelinearnosti u predpostavljene analize serijskih spojeva sijalica predspojnih naprava koje mogu da izazovu pojavu viših harmonika i na sijalici i prema mreži.

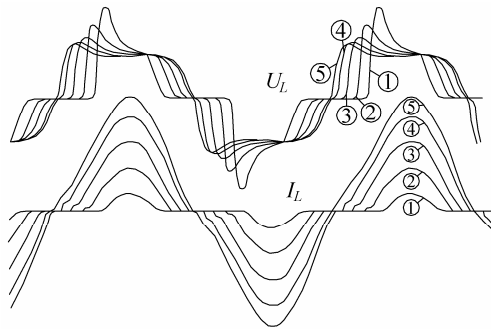
Napon ponovnog paljenja je zavisian od trajanja bez strujne pauze, pa je ovaj napon kod spoja sa predotpornikom viši nego kod spoja sa prigušnicom.



Sl. 2. Upoređivanje oscilograma svetlosnog fluksa, napona sijalice i toka struje 25 W sijalice kod ograničenja struje pomoću otpornika i prigušnice.

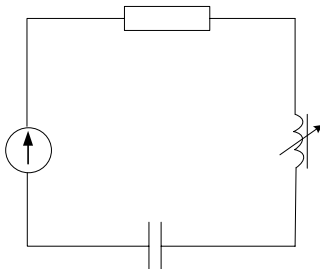
Za razliku od otpornika i prigušnica, elektronske regulacione naprave ispunjavaju uslov da napon na sijalicama ostaje skoro konstantan i kod toga se može regulisati struja od najmanjih vrednosti pa do konačnih vrednosti.

Idući u susret rešavanju složenog električnog kola koga čine sijalica sa pražnjenjem i predspojna naprava (prigušnica, otpornik) ili elektronski regulacioni uređaj (energetski pretvarač), sastavljen je postupak koji pokazuje i dobro slaganje sa oscilogramskim snimcima. Oscilogrami koji su bili nanešeni jedan iznad drugog za različite vrednosti osvetljenosti, pokazuju kod rada elektronsko regulacionih naprava u kombinaciji sa prigušnicama, vrlo dobar porast napona za ponovno paljenje sijalica kod malih struja sijalica i većih bez strujnih pauza.



Sl. 3. Oscilogrami napona ( $U_L$ ) i struje ( $I_L$ ) fluorescentne sijalice, koja se nalazi u pogonu sa elektronskom regulacionom napravom, kod pet različitih podešavanja svetlosti. Efektivne vrednosti struja kroz sijalicu su:  
(1)=0.03A; (2)=0.1A; (3)=0.2A; (4)=0.3A; (5)=0.38A.

Obzirom na izraženu nelinearnost induktivnost karaktera prigušnice i same sijalice koja je opisana na predhodnoj stranici, može se sa dovoljnom tačnošću pretpostaviti da je ova nelinearnost u suštini generator viših harmonika u električnom kolu koga obrazuju sijalica i predspojna naprava. Radi se o prigušnom oscilatornom kolu sa nelinearnom induktivnošću kao na sl. 4.



Sl. 4. Nelinearno oscilatorno kolo.

Ovo nelinearno oscilatorno kolo kao što se vidi na sl. 4 sadrži: nelinearnu induktivnost kola koja obuhvata induktivnost prigušnice i sijalice sa pražnjenjem  $L=f(I)$ , linearnu kapacitivnost koja kompenzuje reaktivnu komponentu struje, aktivnu otpornost koja obuhvata sve aktivne gubitke u kolu ( $R$ ), pretpostavljena karakteristika nelinearnosti  $i=a\psi+b\psi^3$ .

Električno kolo je priključeno na mrežni napon čija vremenska funkcija ima sinusoidni oblik pa se proces može opisati jednačinom:

$$\frac{d\psi}{dt} + R_i + \frac{1}{c} \int i dt = E_{m0} \sin(\omega t + \varphi) = kE_m \sin(\omega t + \varphi) \quad (1)$$

$k$ -brojna vrednost (koeficijent),  
 $E_{m0}$ -amplituda mrežnog napona,  
 $\varphi$ -fazni stav e.m.s. prema fluksu  $\psi$ .

Diferencijalnim rešavanjem jednačine (1) dobija se:

$$\begin{aligned} \frac{d^2\psi}{dt^2} + R \frac{d\psi}{dt} + \frac{1}{c} \psi &= k\omega E_o \cos(\omega t + \varphi) \\ \frac{d\psi}{dt} &= \frac{d\psi}{d\psi} \frac{d\psi}{dt} \Rightarrow \frac{d\psi}{d\psi} = a + 3b\psi^2 \\ \frac{d\psi}{dt} &= (a + 3b\psi)^2 \frac{d\psi}{dt} \end{aligned}$$

ako se označi:  $\omega_0 = \sqrt{\frac{a}{c}}$ ;  $\psi_0 = \frac{\omega E_{m0}}{\omega_0^2}$ ;  $\alpha = \frac{\omega}{\omega_0}$

dobija se:  $k_1 = k \cos \varphi$ ;  $k_2 = k \sin \varphi$ ;

$$\lambda = \frac{b}{a} \psi_0^2 = \frac{b}{a} \left[ \frac{\omega E_{m0}}{\omega_0^2} \right]^2;$$

$$x = \frac{\psi}{\psi_0}; \quad \tau = \omega_0 t; \quad 2\delta = \frac{R a}{\omega_0}$$

pa se može preći na jednačinu koja se rešava veoma lako:

$$\frac{d^2x}{d\tau^2} + 2\delta \frac{dx}{d\tau} + x + \lambda x^3 = k \cos(\alpha\tau + \varphi) \quad (2)$$

Da se dobiju načelne predstave o rešenju ove u suštini Duffing-ove diferencijalne jednačine II-ređa sa članom koji se odnosi na prigušenje procesa pretpostavlja se rešenje oblika:

$$x = x_m \cos \alpha\tau$$

$$\frac{dx}{d\tau} = -\alpha x_m \sin \alpha\tau; \quad \cos^3 \alpha\tau = \frac{3}{4} \cos \alpha\tau + \frac{1}{4} \cos 3\alpha\tau$$

$$\frac{d^2x}{d\tau^2} = -\alpha^2 x_m \cos \alpha\tau$$

Zamenom pretpostavljenog rešenja u jednačinu (2) dobija se:

$$\begin{aligned} &-\alpha^2 X_m \cos \alpha\tau - 2\delta \alpha X_m \sin \alpha\tau + \\ &+ X_m \cos \alpha\tau + \lambda X_m^3 \left( \frac{3}{4} \cos \alpha\tau + \frac{1}{4} \cos 3\alpha\tau \right) = \\ &= k_1 \cos \alpha\tau - k_2 \sin \alpha\tau \end{aligned}$$

Ako se zanemari drugi član u zagradi i grupišu svi članovi uz  $(\cos \alpha\tau)$  i  $(\sin \alpha\tau)$  dobijaju se dve jednačine:

$$-\alpha^2 X_m + X_m + \frac{3}{4} \lambda X_m^3 = k_1 \quad (2')$$

$$2\delta X_m \alpha = k_2 \quad (2'')$$

pošto je:  $k_1^2 + k_2^2 = k^2$  dobija se:

$$\left[ (1 - \alpha^2) X_m + \frac{3}{4} \lambda X_m^3 \right]^2 + [2\delta \alpha X_m]^2 = k^2 \quad (3)$$

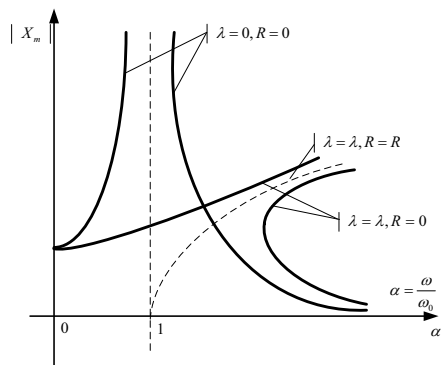
Kada bi proces bio slabo prigušen ( $R=0$ ;  $\rightarrow \delta=0$ ) jednačina postaje:

$$\left[ (1 - \alpha^2) X_m + \frac{3}{4} \lambda X_m^3 \right]^2 = k^2 \quad (3')$$

što znači da  $X_m$  postaje zavistan od parametra ( $\alpha$ ):

$$X_m = f(\alpha).$$

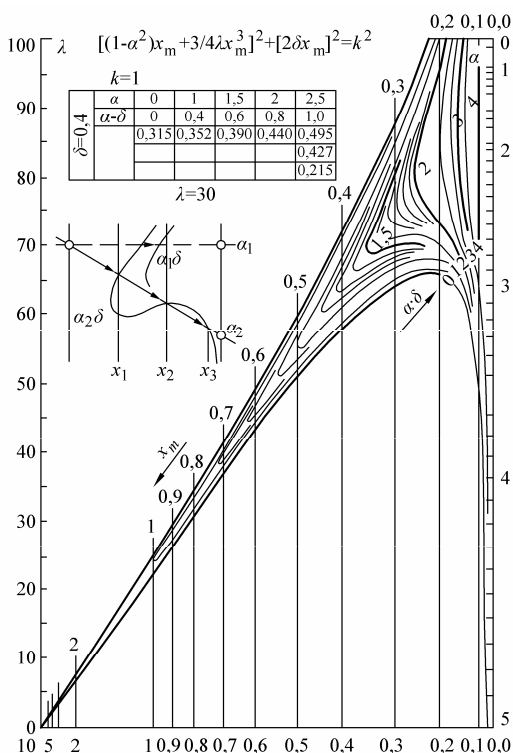
Ova zavisnost je data na sl. 5.



Sl. 5. Grafik zavisnosti amplitude  $X_m=f(\alpha)$ .

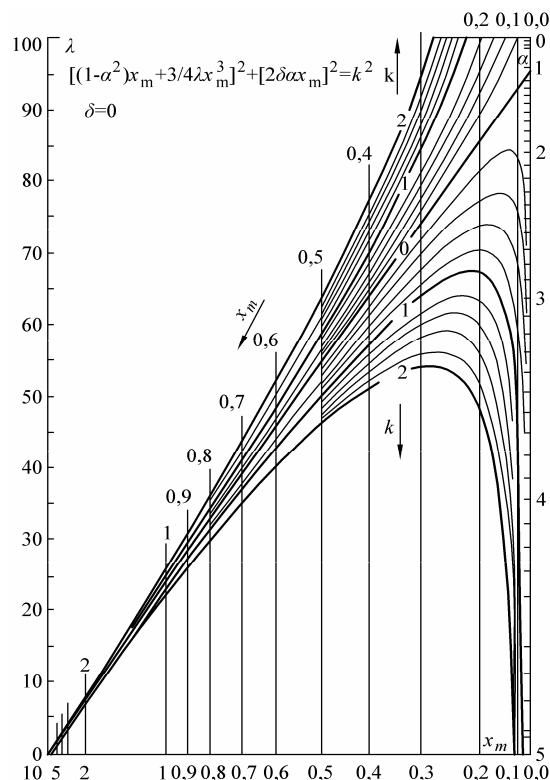
Nelinearni slučaj ( $\lambda > 0$ ,  $R > 0$ ) objašnjava se na sledeći način: kod manjih frekvencija, manjih od rezonantnih, amplituda oscilovanja je manja. Ovo odgovara velikoj ekvivalentnoj induktivnošću ( $L = \psi_m / I_m$ ) za koju rezonantna frekvencija ( $\omega_0 = 1 / \sqrt{LC}$ ) ima malu vrednost.

Na sl. 6 predstavljen je grafički princip rešavanja prema nomogramima kojima odgovaraju vrednosti  $k=1$ . Princip rešavanja odgovara izrazu (3) i (3'). Nomogram se koristi na sledeći način.



Sl. 6. Grafikon sa nomogramima za vrednosti  $k=1$ .

Prvo se znaju početne vrednosti ( $\delta$ ) i ( $\lambda$ ), zatim se zadaju neke vrednosti  $\lambda$  (na elipsi  $\lambda_1, \lambda_2, \lambda_3, \dots$ ) koje odgovaraju proizvodu ( $\lambda \delta$ ) kojih na nomogramu ima, onda se spaja zadata vrednost ( $\lambda$ ) sa izabranom vrednošću ( $\alpha$ ) i nađe tačka preseka ove prave i krive ( $\lambda \delta$ ) i na kraju pročita vrednost  $X_m$ ,  $X_m=f(\alpha)$ . Na sl. 7 predstavljen je sličan nomogram za slučaj  $\delta=0$  (nepriugušeno oscilatorno kolo).



Sl. 7. Nomogram za  $\delta=0$  (nepriugušeno oscilatorno kolo).

### III. ZAKLJUČAK

Rad objašnjava da se povećanjem učestanosti, ekvivalentna induktivnost smanjuje a rezonantna frekvencija raste. Kao rezultat dobijaju se male amplitude. Prisustvo aktivnih gubitaka (priugušenje) izaziva analogne procese kao u linearnim kolima. Amplituda osciloskopa ne može da raste neograničeno i zato frekventna kapacitivnost ne ide ka beskonačnosti.

### LITERATURA

- [1] S. Bjelić: "Energetski pretvarači u mrežama i instalacijama", Sven, Niš, 2007, ISBN, 978-86-909183-197.
- [2] Joseph B. Murdoch: "Illumination Engineering", University of New Hampshire, Macmillan Publishing Company, New York 1997, ISBN 002949250-5.
- [3] S. Bjelić: "Uvod u (SN) mreže i (NN) instalacije", Sven, Niš, 2007.
- [4] S. Bjelić, M. Vujičić: "Električno osvetljenje", Xerox, Čačak, Srbija, 2001, no. 1-101, ISBN 8679670103.
- [5] S. Bjelić, Z. Bogičević, N. Marković, M. Vujičić, Magnetic Dissipation of Preconnecting Devices of Artificial Sources of Light, PES 3-5 Septembar 2007, Niš.
- [6] M. Vujičić: doktorska disertacija, "Nove mogućnosti optimizacije parametara i koeficijena električne mreže", Tehnički fakultet, Čačak.

### ABSTRACT

This Paper is analyzing appearance of higher harmonics emanated as a cause of nonlinear magnetic characteristics of baffler in preconnecting devices under influence of classical sources of light.

### HIGHER HARMONICS AS EFFECT OF NONLINEAR PRECONNECTING BAFFLER AT LIGHT SOURCES

Zorica Bogičević, Slobodan Bjelić