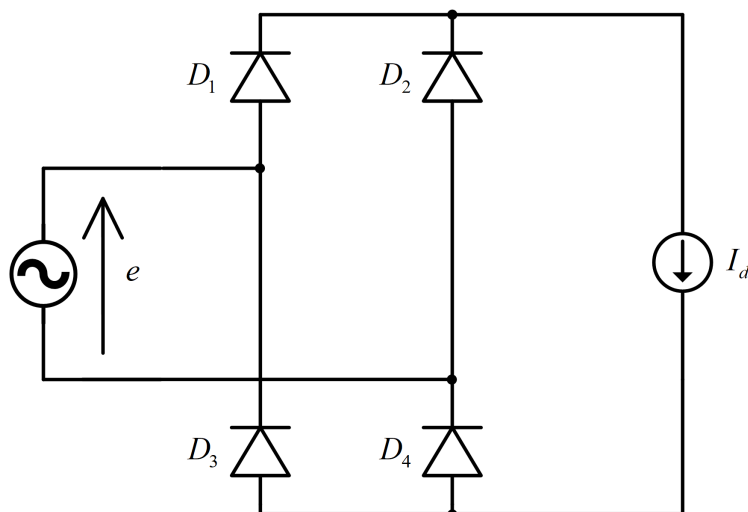


**1. zadatak (23 poena)** Monofazni diodni mosni ispravljač priključen je na mrežni napon efektivne vrednosti 230 V, frekvencije 50 Hz. Talasnost izlazne struje može se zanemariti, a njena srednja vrednost iznosi  $I_d = 15$  A. Izračunati aktivnu, reaktivnu i prividnu snagu osnovog harmonika, kao i ukupnu prividnu snagu koja se uzima iz mreže. Izračunati faktor snage osnovnog harmonika i ukupni faktor snage.



Slika 1.

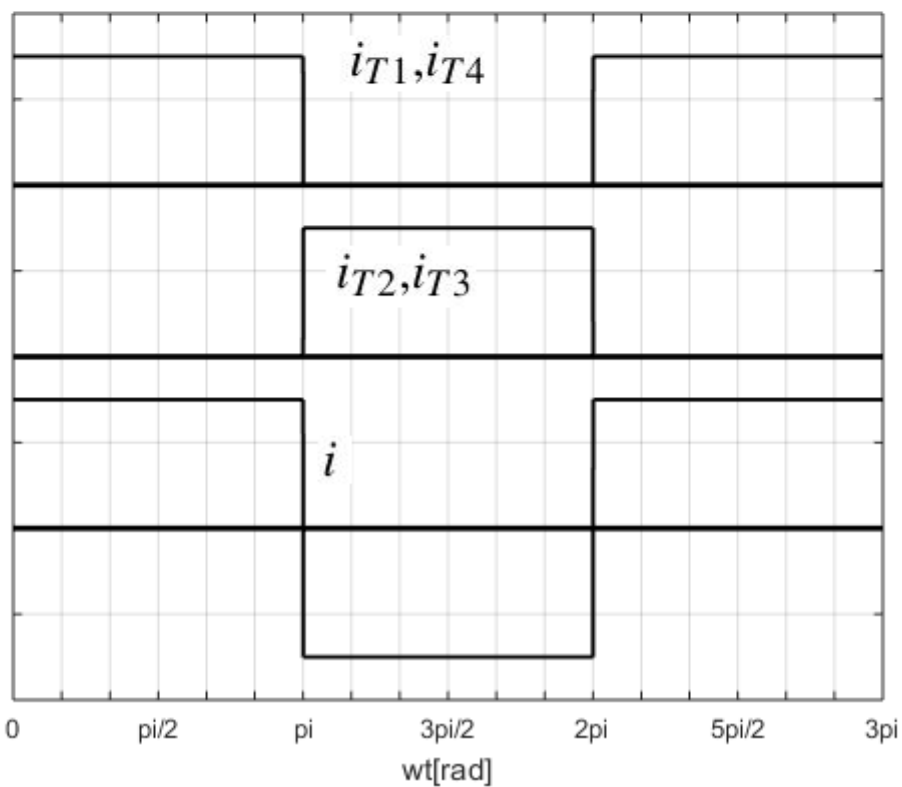
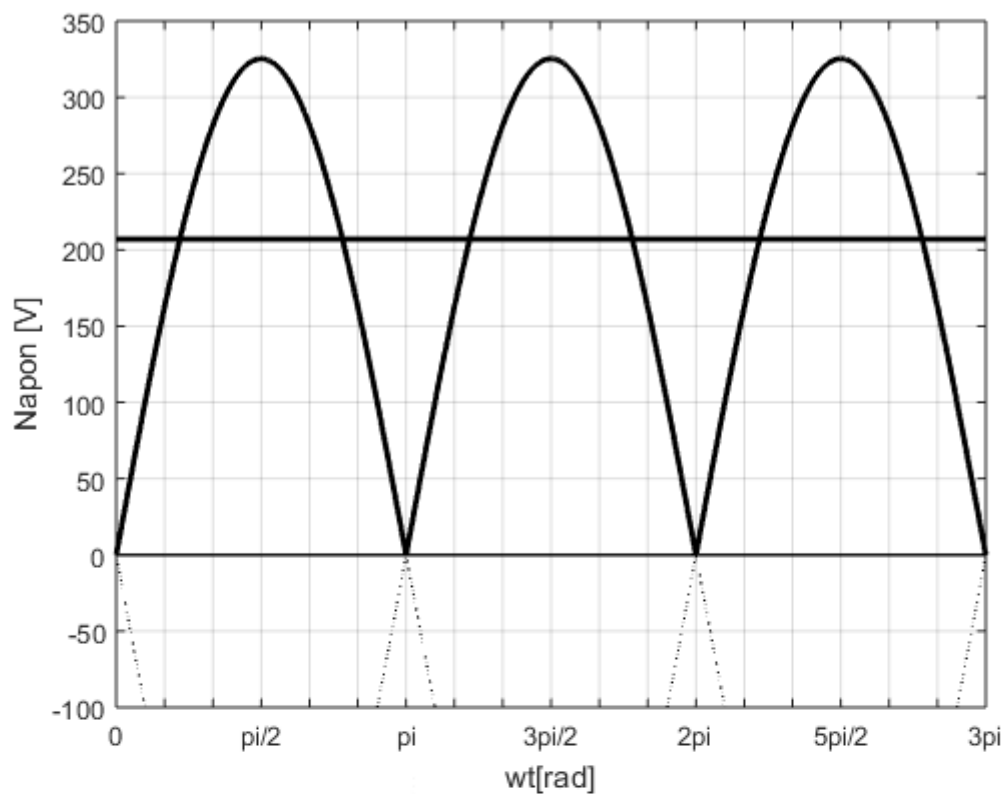
**Rešenje 1. zadatka** "Ugao paljenja" dioda je jednak nuli, pa je srednja vrednost izlaznog napona jednak:

$$U_d = \frac{2E\sqrt{2}}{\pi} = 206.56 \text{ V.} \quad (1.1)$$

Posmatrajući Sliku 1.1, moguće je zaključiti da je ulazna struja  $i(\omega t)$  neparna funkcija, pa važi:

$$B_1 = \frac{1}{\pi} \int_0^{2\pi} i(x) \cos x dx = 0. \quad (1.2)$$

$$A_1 = \frac{1}{\pi} \int_0^{2\pi} i(x) \sin x dx = \frac{4I_d}{\pi}. \quad (1.3)$$



Slika 1.1 Talasni oblici izlaznog napona, struja tiristora i ulazne struje

Efektivna vrednost osnovnog harmonika ulazne struje jednaka je:

$$I_1 = \sqrt{\frac{A_1^2 + B_1^2}{2}} = \frac{2E\sqrt{2}}{\pi}, \quad (1.4)$$

dok je njen fazni ugao jednak:

$$\psi_1 = \arctan \frac{B_1}{A_1} = 0. \quad (1.5)$$

Kako napon u svom spektru sadrži samo osnovni harmonik, aktivna snaga na ulazu u ispravljач jednaka je aktivnoj snazi osnovnog harmonika:

$$P = P_1 = EI_1 \cos(\theta_1 - \phi_1) = EI_1, \quad (1.6)$$

gde je  $\theta_1$  faza ulaznog napona i jednaka je nuli. Reaktivna snaga osnovnog harmonika jednaka je nuli, pa je prividna snaga osnovnog harmonika jednaka aktivnoj snazi osnovnog harmonika. Ukupna prividna snaga jednaka je:

$$S = EI, \quad (1.7)$$

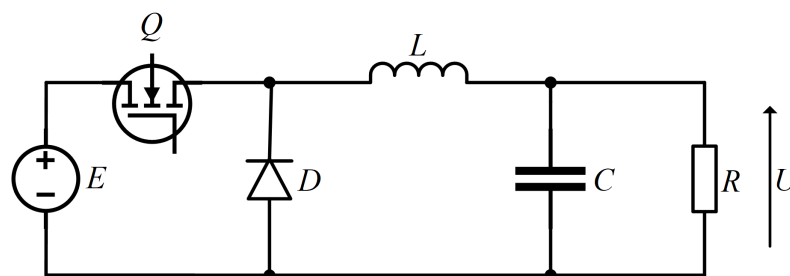
gde je  $I = 15$  A efektivna vrednost struje  $i$ . Faktor snage osnovnog harmonika iznosi:

$$\lambda_1 = \frac{P_1}{S_1} = 1, \quad (1.8)$$

dok je ukupni faktor snage jednak:

$$\lambda = \frac{P}{S} = \frac{EI_1}{EI} = \frac{2\sqrt{2}}{\pi} = 0.898. \quad (1.9)$$

**2. zadatak (25 poena)** Ulazna snaga čopera spuštača napona je konstantna i jednaka  $P = 100 \text{ W}$ , dok ulazni napon može uzeti vrednost u opsegu od  $18 \text{ V}$  do  $24 \text{ V}$ . Za koje vrednosti ulaznog napona čoper radi u neprekidnom, a za koje u prekidnom režimu rada? Odrediti funkciju zavisnosti *duty-cycle*-a od ulaznog napona, kao i opseg u kom se kreće *duty-cycle*. Zanemariti sve gubitke u kolu. Pretpostaviti da je kapacitivnost kondenzatora  $C$  dovoljno velika da se može zanemariti talasnost izlaznog napona. Ostali parametri: otpornost opterećenja  $R = 2.25 \Omega$ , induktivnost prigušnice  $L = 33 \mu\text{H}$ , frekvencija prekiđanja  $f = 10 \text{ kHz}$ .



Slika 2.

**Rešenje 2. zadatka** Kako su zanemareni svi gubici u kolu, u ustaljenom stanju važi da je ulazna snaga jednaka izlaznoj snazi. Kako su izlazna snaga i otpornost opterećenja konstantne vrednosti, sledi da je i izlazni napon konstantan:

$$U = \sqrt{PR} = 15 \text{ V.} \quad (2.1)$$

U neprekidnom režimu rada čopera spuštača napona važi:

$$D = U/E. \quad (2.2)$$

Kod čopera spuštača napona srednja vrednost struje prigušnice jednaka je srednjoj vrednosti izlazne struje:

$$I_{L,sr} = I_0 = U/R = 6.67 \text{ A.} \quad (2.3)$$

Ripl struje prigušnice jednak je:

$$\Delta I_L = \frac{ED(1-D)}{Lf}. \quad (2.4)$$

Uslov neprekidnosti struje prigušnice je da je srednja vrednost struje prigušnice veća i jednaka polovini ripla iste te struje:

$$I_0 \geq \frac{\Delta I_L}{2}, \quad (2.5)$$

odnosno:

$$\frac{ED}{R} \geq \frac{ED(1-D)}{2Lf}. \quad (2.6)$$

Iz prethodne nejednačine dobija se opseg vrednosti *duty-cycle*-a za koje čoper radi u neprekidnom režimu rada:

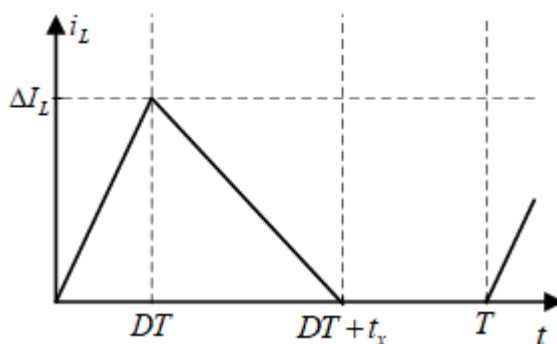
$$D \geq 0.706, \quad (2.7)$$

pa je opseg vrednosti ulaznog napona za koje čoper radi u neprekidnom režimu:

$$E = U/D \leq 21.24 \text{ V}. \quad (2.8)$$

Na Slici 2.1 je prikazan talasni oblik struje prigušnice u prekidnom režimu rada. Iz uslova da je srednja vrednost napona prigušnice u ustaljenom stanju jednaka nuli, dobija se trajanje režima rada kada provodi dioda:

$$t_x = \frac{E - U}{U} DT. \quad (2.9)$$



Slika 2.1 Struja prigušnice u prekidnom režimu rada čopera.

Ripl struje prigušnice u prekidnom režimu rada jednak je:

$$\Delta I_L = \frac{(E - U)D}{Lf}. \quad (2.10)$$

Količnik integrala struje prigušnice tokom jednog prekidačkog perioda i dužine trajanja tog perioda je srednja vrednost struja prugušnice:

$$I_{L,sr} = \frac{\Delta I_L(DT + t_x)}{2T}, \quad (2.11)$$

što je istovremeno srednja vrednost izlazne struje:

$$\frac{U}{R} = \frac{\Delta I_L(DT + t_x)}{2T}. \quad (2.12)$$

Primenom izraza (2.9) i (2.10) na prethodni izraz dobija se funkcija zavisnosti *duty-cycle-a* od ulaznog napona u prekidnom režimu rada:

$$D(E) = U \sqrt{\frac{2Lf}{(E - U)ER}} = 15 \sqrt{\frac{0.3}{E(E - 15)}}. \quad (2.13)$$

Objedinjavajnem izraza koji važe za neprekidni i prekidni režima rada dobija se tražena funkcija zavisnosti:

$$D(E) = \begin{cases} 15/E & , 18 \text{ V} \leq E \leq 21.24 \text{ V} \\ 15 \sqrt{\frac{0.3}{E(E-15)}} & , 21.24 \leq E \leq 24 \text{ V} \end{cases}. \quad (2.14)$$

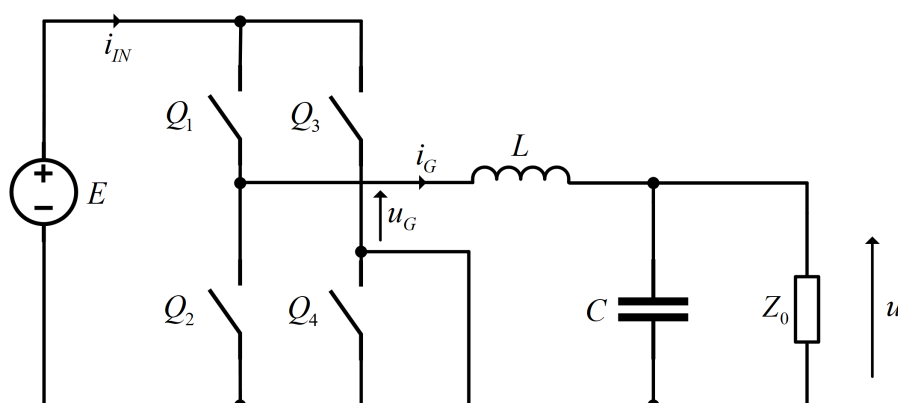
Minimalna vrednost *duty-cycle-a* ima se pri maksimalnom ulaznom naponu  $E = 24 \text{ V}$ :

$$D_{min} = 0.56, \quad (2.15)$$

dok se maksimalna vrednost *duty-cycle-a* ima se pri minimalnom ulaznom naponu  $E = 18 \text{ V}$ :

$$D_{max} = 0.833. \quad (2.16)$$

**3. zadatak (22 poena)** Na Slici 3. prikazan je monofazni mosni inverter sa LC filtrom. Na izlazne priključke filtra priključeno je pretežno induktivno opterećenje  $Z_0 = 100 \Omega$ . Kod invertora je implementirana bipolarna modulacija, gde se nosilac kreće u granicama od -1 do 1, sa frekvencijom 20 kHz, dok je referentni signal prostoperiodičan, sa frekvencijom od 50 Hz. Odrediti indeks modulacije tako da aktivna i reaktivna snaga osnovnog harmonika (50 Hz) opterećenja ( $Z_0$ ) iznose 400 W i 300 VAR. Ostali parametri: induktivnost prigušnice filtra  $L = 15.9$  mH, kapacitivnost kondenzatora filtra  $C = 4.7 \mu\text{F}$ , ulazni DC napon  $E = 500$  V. Pretpostaviti da su prekidači idealni i bidirekcionni.



Slika 3.

**Rešenje 3. zadatka** Prividna snaga osnovnog harmonika opterećenja jednaka je:

$$S_1 = \sqrt{P_1^2 + Q_1^2} = 500 \text{ VA}, \quad (3.1)$$

odakle sledi da je efektivna vrednost osnovnog harmonika napona opterećenja jednaka:

$$U_1 = \sqrt{S_1 U_1} = 223.6 \text{ V}, \quad (3.2)$$

a efektivna vrednost struje osnovnog harmonika opterećenja:

$$I_1 = U_1 / Z_0 = 2.236 \text{ A}. \quad (3.3)$$

Opterećenje  $Z_0$  može se predstaviti kao redna veza otpornika  $R_0$  i prigušnice  $L_0$ , gde važi:

$$R_0 = P_1 / I_1^2 = 80 \Omega, \quad (3.4)$$

i:

$$L_0 = Q_1 / (2\pi f_1 I_1^2) = 0.2 \text{ H.} \quad (3.5)$$

Kada su poznati parametri opterećenja, moguće je odrediti funkciju prenosa filtra i opterećenja:

$$G(s) = \frac{U(s)}{U_g(s)} = \frac{R_0 + sL_0}{s^3 LL_0 C + s^2 R_0 LC + s(L + L_0) + R_0}. \quad (3.6)$$

Smenom  $s = j\omega$  prethodni izraz postaje:

$$G(j\omega) = \frac{U(j\omega)}{U_g(j\omega)} = \frac{R_0 + j\omega L_0}{-j\omega^3 LL_0 C - \omega^2 R_0 LC + j\omega(L + L_0) + R_0}. \quad (3.7)$$

Vrednost funkcije prenosa za osnovni harmonik frekvencije  $f_1 = 50 \text{ Hz}$ :

$$G_1 = \frac{U_1}{U_{g1}} = 0.9772e^{-2.24^\circ}, \quad (3.8)$$

iz čega sledi da je efektivna vrednost napona  $U_{g1} = 228.817 \text{ V}$ . Indeks modulacije jednak je odnosu amplitude osnovnog harmonika napona na izlazu iz mosta i ulaznog napona:

$$m = 0.645. \quad (3.9)$$

Izbor faznog ugla referentnog signala ne utiče na vrednosti aktivne i reaktivne snage osnovnog harmonika na pasivnom opterećenju.