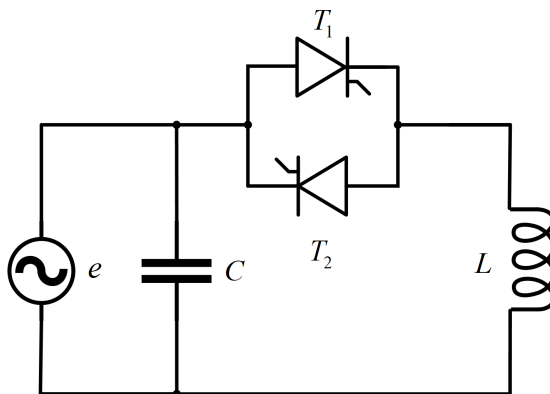


1. zadatak (18 poena) Kondenzator C priključen je paralelno faznom regulatoru u cilju kompenzacije reaktivne snage osnovnog harmonika. Induktivnost prigušnice jednaka je $L = 10$ mH, frekvencija mrežnog napona je 50 Hz. Odrediti kapacitivnost kondenzatora tako da je reaktivna snaga osnovnog harmonika u potpunosti kompenzovana pri uglu paljenja tiristora $\alpha = 2\pi/3$.



Slika 1.

Rešenje 1. zadatka Kada su tiristori uključeni, napon opterećenja jednak je mrežnom naponu, dok se izraz za struju dobija iz jednačine za napon prigušnice. Kada je uključen tiristor T_1 , izraz za struju opterećenja, što je istovremeno i ulazna struja, glasi:

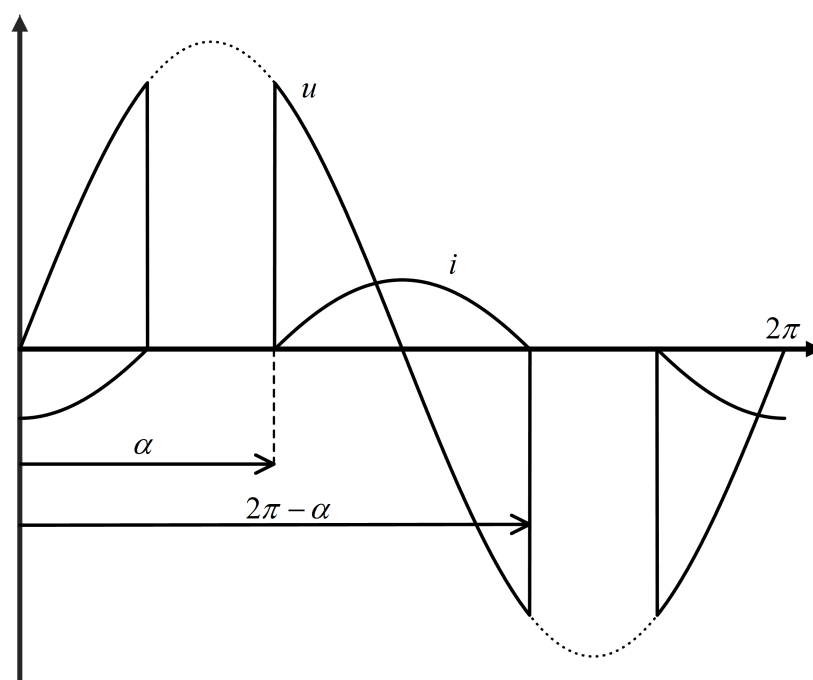
$$i(x) = \frac{E\sqrt{2}}{\omega L}(\cos \alpha - \cos x). \quad (1.1)$$

Struja $i(x)$ je parna funkcija, pa važi:

$$A_k = \frac{1}{\pi} \int_0^{2\pi} i(x) \sin(kx) dx. \quad (1.2)$$

$$B_1 = \frac{1}{\pi} \int_0^{2\pi} i(x) \sin(x) dx = \frac{4}{\pi} \int_{\alpha}^{\pi} i(x) \cos x dx. \quad (1.3)$$

$$B_1 = -\frac{2\sqrt{2}E}{\omega L} \left[1 - \frac{\alpha}{\pi} + \frac{\sin(2\alpha)}{2\pi} \right]. \quad (1.4)$$



Slika 1.1 Talasni oblici napona i struje faznog regulatora

Fazni ugao struje osnovnog harmonika struje jednak je:

$$\psi_1 = \arctan\left(\frac{B_1}{A_1}\right) = -\frac{\pi}{2}. \quad (1.5)$$

Efektivna vrednost osnovnog harmonika struje jednaka je:

$$I_1 = \sqrt{\frac{A_1^2 + B_1^2}{2}} = \frac{2E}{\omega L} \left[1 - \frac{\alpha}{\pi} + \frac{\sin(2\alpha)}{2\pi}\right]. \quad (1.6)$$

Reaktivna snaga osnovnog harmonika faznog regulatora jednaka je:

$$Q_1 = EI_1 \sin(\theta_1 - \psi_1), \quad (1.7)$$

gde je $\theta_1 = 0$ fazni ugao mrežnog napona. Sledi:

$$Q_1 = \frac{2E^2}{\omega L} \left[1 - \frac{\alpha}{\pi} + \frac{\sin(2\alpha)}{2\pi}\right]. \quad (1.8)$$

Za ugao paljenja $\alpha = 2\pi/3$, reaktivna snaga osnovnog harmonika iznosi:

$$Q_1 = 0.39 \frac{E^2}{\omega L}. \quad (1.9)$$

Reaktivna energija kondenzatora jednaka je:

$$Q_c = -\omega C E^2. \quad (1.10)$$

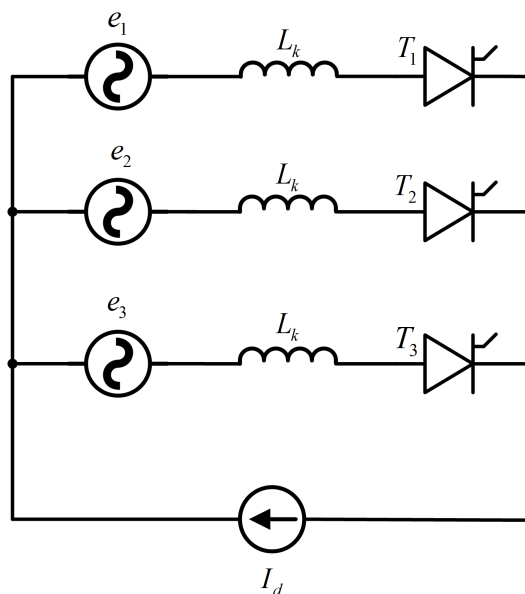
Kako je reaktivna snaga osnovnog harmonika u potpunosti kompenzovana, važi sledeći izraz:

$$Q_1 + Q_c = 0, \quad (1.11)$$

sledi da je tražena kapacitivnost kondenzatora jednaka:

$$C = \frac{0.39}{\omega^2 L} \approx 400 \mu\text{F}. \quad (1.12)$$

2. zadatak (22 poena) Za trofazni jednostrani ispravljač sa Slike 2. poznati su sledeći parametri: efektivna vrednost faznog napona $E = 46$ V, frekvencija $f = 50$ Hz, induktivnost rasipanja $L_k = \sqrt{3}/\pi$ mH, izlazna struja $I_d = 15$ A, ugao uključenja tiristora $\alpha = \pi/3$. Skicirati talasne oblike izlaznog napona i struja tiristora. Odrediti ugao trajanja komutacije. Odrediti srednju vrednost izlaznog napona.



Slika 2.

Rešenje 2. zadatka Talasni oblici izlaznog napona i struja tiristora prikazani su na Slici 2.1. Do trenutka $\omega t = \pi/6 + \alpha + 2\pi/3 = 5\pi/6 + \alpha$. U tom trenutku, počinje komutacije između tiristora T_1 i T_2 . Napon u prvoj grani jednak je naponu u drugoj grani:

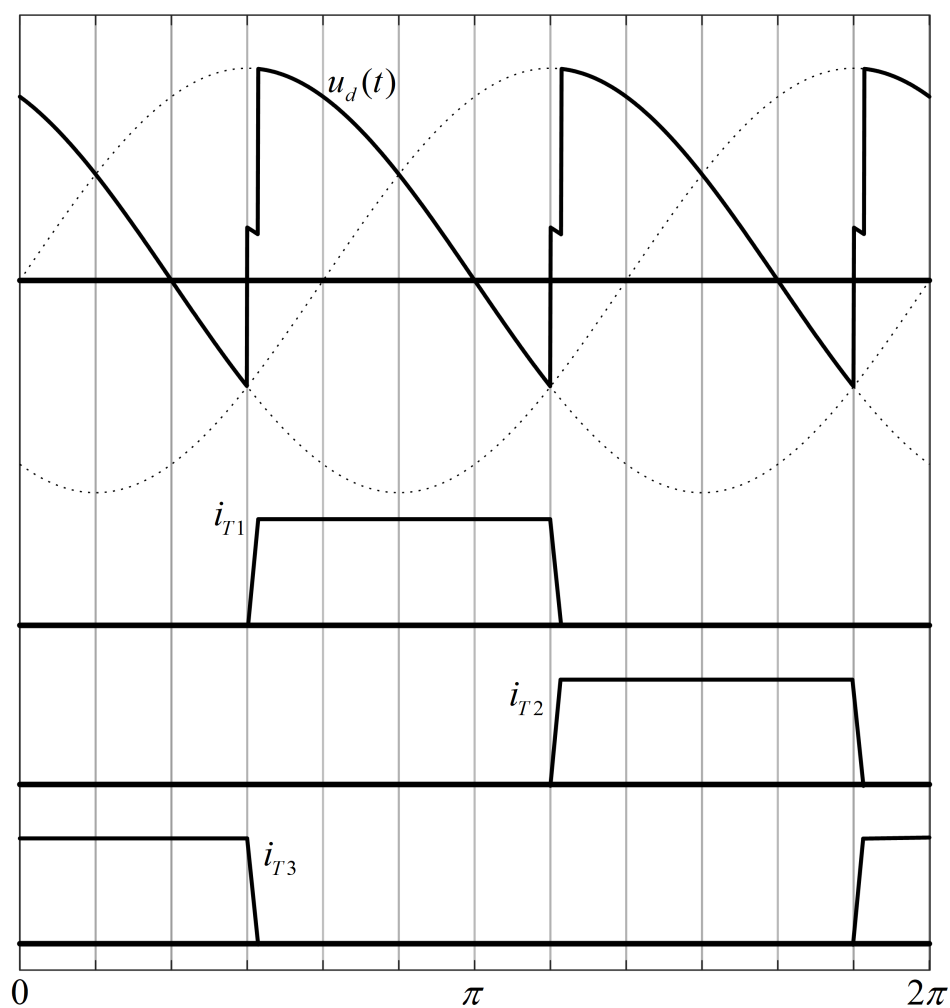
$$e_1 - L_k \frac{di_{T1}}{dt} = e_2 - L_k \frac{di_{T2}}{dt}, \quad (2.1)$$

odnosno:

$$e_1 - e_2 = L_k \frac{d(i_{T1} - i_{T2})}{dt}. \quad (2.2)$$

Tokom ove komutacije, zbir struja tiristora T_1 i T_2 jednak je struji opterećenja I_d :

$$i_{T1} + i_{T2} = I_d. \quad (2.3)$$



Slika 2.1 Talasni oblici izlaznog napona i struja tiristora

Diferenciranjem prethodnog izraza po vremenu dobija se sledeći izraz:

$$\frac{d(i_{T1} + i_{T2})}{dt} = 0. \quad (2.4)$$

Kombinovanjem izraza (2.2) i (2.4) može se izvesti izraz (2.5):

$$e_1 - e_2 = 2L_k \frac{di_{T1}}{dt} = 2u_{L1}, \quad (2.5)$$

gde je u_{L1} napon na prigušnici rasipanja u prvoj grani:

$$L_k \frac{di_{T1}}{dt} = \frac{e_1 - e_2}{2}. \quad (2.6)$$

Napon na opterećenju tokom komutacije tiristora T_1 i T_2 jednak je:

$$u_d = e_1 - u_{L1} = \frac{e_1 + e_2}{2} = \frac{-e_3}{2}. \quad (2.7)$$

Smenom $x = \omega t$ u izrazu (2.6) dobija se:

$$di_{T1} = \frac{e_1 - e_2}{2\omega L_k} dx. \quad (2.8)$$

Integraljenjem prethodnog izraza u granicama od početka do kraja komutacije, dolazi se do sledećeg izraza:

$$-I_d = \frac{E\sqrt{6}}{2\omega L_k} \int_{x=5\pi/6+\alpha}^{5\pi/6+\alpha+\mu} \sin(x + \frac{\pi}{6}) dx, \quad (2.9)$$

gde je μ ugao trajanja komutacije. Rešavanjem prethodnog integrala, dobija se izraz:

$$\cos(\alpha) - \cos(\alpha + \mu) = \frac{2\omega L_k I_d}{E\sqrt{6}}, \quad (2.10)$$

odakle sledi da je ugao trajanja komutacije jednak:

$$\mu = 3.012^\circ. \quad (2.11)$$

Srednja vrednost izlaznog napona jednaka je:

$$U_d = \frac{1}{2\pi} \int_{\pi/6+\alpha+\mu}^{\pi/6+\alpha+\mu+2\pi} u_d(x) dx = \frac{3}{2\pi} \int_{\pi/6+\alpha+\mu}^{\pi/6+\alpha+\mu+2\pi/3} u_d(x) dx. \quad (2.12)$$

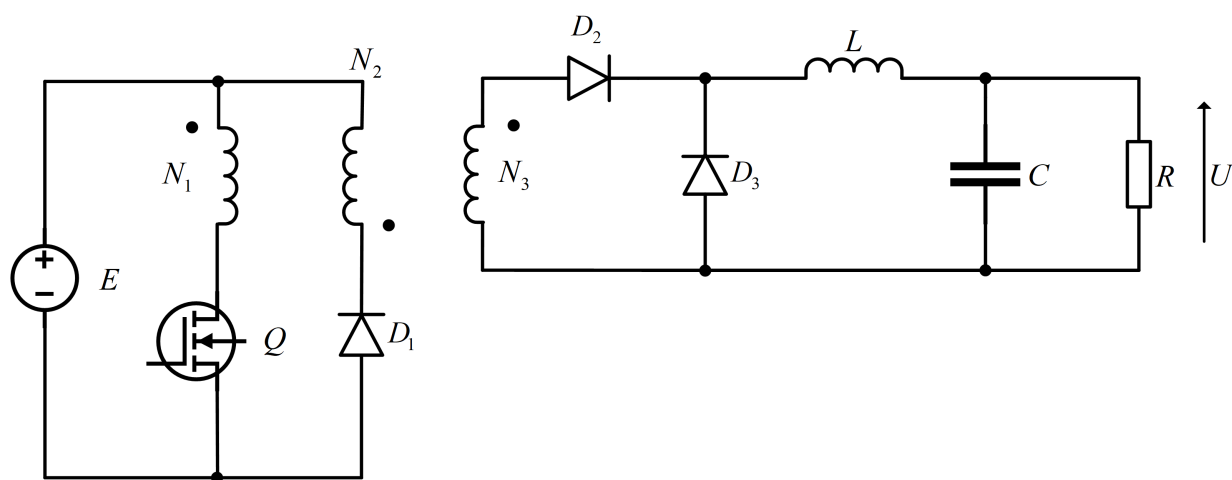
$$U_d = \frac{3}{2\pi} \left[\int_{\pi/6+\alpha+\mu}^{\pi/6+\alpha+2\pi/3} e_1(x) dx + \int_{\pi/6+\alpha+2\pi/3}^{\pi/6+\alpha+2\pi/3+\mu} -\frac{e_3(x)}{2} dx \right]. \quad (2.13)$$

Rešavanjem prethodnog integrala, dobija se srednja vrednost izlaznog napona:

$$U_d = \frac{3E\sqrt{6}}{2\pi} \cos(\alpha) - 3\frac{\omega L_k I_d}{2\pi} = 25.66 \text{ V}. \quad (2.14)$$

3. zadatak (30 poena) Za čoper sa Slike 3. poznati su sledeći parametri: ulazni napon $E = 300$ V, prenosni odnos transformatora $N_1/N_2/N_3 = 10/12/1$, induktivnost prigušnice $L = 100$ μ H, frekvencija prekidanja $f = 40$ kHz, otpornost opterećenja $R = 10$ Ω . Zanimariti talasnost napona na kondenzatoru.

- Za koje vrednosti *duty-cycle*-a D transformator ne ulazi u zasićenje?
- Izvesti funkciju izlaznog napona od *duty-cycle*-a, za opseg *duty-cycle*-a određen u prethodnoj tački.



Slika 3.

Rešenje 3. zadatka Kada je prekidač Q uključen, transformator se magnetiše pozitivnim naponom E dovedenim na primarni namotaj. Dok je prekidač uključen, promena fluksa u magnetskom jezgru transformatora jednaka je:

$$\Delta\Phi_{on} = \frac{EDT}{N_1}. \quad (3.1)$$

Diode D_1 i D_3 su inverzno polarisane, pa neće provoditi, dok je dioda D_2 direktno polarisana, i provodi. Napon na tercijaru transformatora jednak je:

$$U_3^{(1)} = \frac{N_3}{N_1}E = 30 \text{ V}. \quad (3.2)$$

Napon na prigušnici L jednak je $U_3^{(1)} - U$. Kada se prekidač isključi, transformator počinje sa razmagnetisanjem preko namotaja N_2 , uz pomoć diode D_1 koja u ovom slučaju provodi.

Promena fluksa transformatora tokom razmagnetisanja jednak je:

$$-\Delta\Phi_{off} = \frac{-Et_m}{N_2}, \quad (3.3)$$

gde je sa t_m označeno trajanje vremenskog intervala razmagnetisanja. Napon na tercijaru je sada negativan, pa je dioda D_2 isključena, dok dioda D_3 provodi. Napon na prigušnici L jednak je negativnoj vrednosti izlaznog napona.

Da transformator ne bi otišao u zasićenje, sledeća dva uslova moraju biti zadovoljena:

$$\Delta\Phi_{on} + \Delta\Phi_{off} = 0, \quad (3.4)$$

i:

$$DT + t_m \leq T. \quad (3.5)$$

Kombinovanjem izraza (3.1), (3.3) i (3.4) dobija se izraz za t_m :

$$t_m = \frac{N_2}{N_1}DT = \frac{6}{5}DT. \quad (3.6)$$

Kada se prethodni izraz primeni na izraz (3.5), dobija se opseg vrednosti D za koje transformator ne ulazi u zasićenje:

$$DT + \frac{N_2}{N_1}DT \leq T \implies D \leq \frac{5}{11}. \quad (3.7)$$

U slučaju da je struja prigušnice neprekidna, izlazni napon se računa po formuli:

$$U = 30D. \quad (3.8)$$

Uslov neprekidnosti struje prigušnice je:

$$I_{L,sr} \geq \frac{\Delta I_L}{2}, \quad (3.9)$$

odnosno:

$$D \geq 1 - \frac{2Lf}{R} = 0.2. \quad (3.10)$$

U prekidnom režimu, izraz za izlazni napon u funkciji od D je (detaljan postupak izvođenja

u uputstvu za 3. laboratorijsku vežbu):

$$D \geq -18.75D^2 + 18.75D\sqrt{D^2 + 3.2}. \quad (3.11)$$

Objedinjenja funkcija izlaznog napona od D , na domenu vrednosti D za koje transformator ne ulazi u zasićenje je:

$$U = \begin{cases} -18.75D^2 + 18.75D\sqrt{D^2 + 3.2} & , 0 \leq D \leq 0.2 \\ 30D & , 0.2 \leq D \leq 0.4545 \end{cases}. \quad (3.12)$$