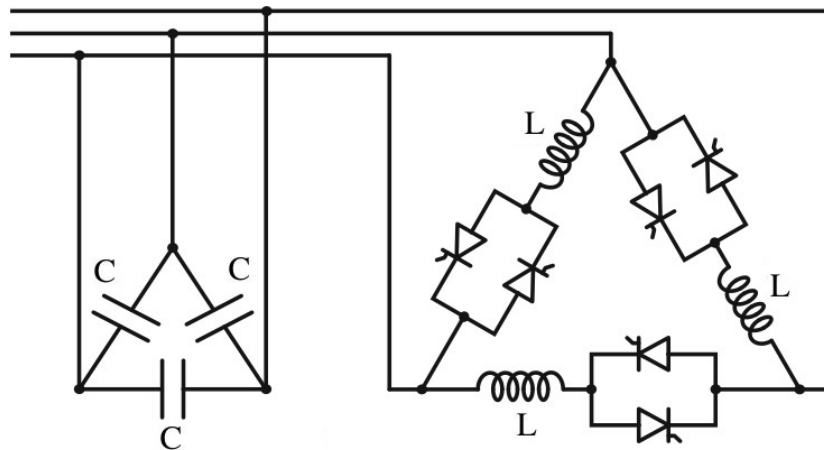


1. zadatak Trofazni fazni regulator, vezan u trougao, priključen je na trofazni mrežni napon (Slika 1). Odrediti kapacitivnost kondenzatora C , tako da reaktivna snaga prvog harmonika faznog regulatora u potpunosti bude kompenzovana. Poznati su sledeći parametri: ugao paljenja tiristora $\alpha = 2\pi/3$, induktivnost prigušnice $L = 1$ mH, frekvencija mrežnog napona $f = 50$ Hz.



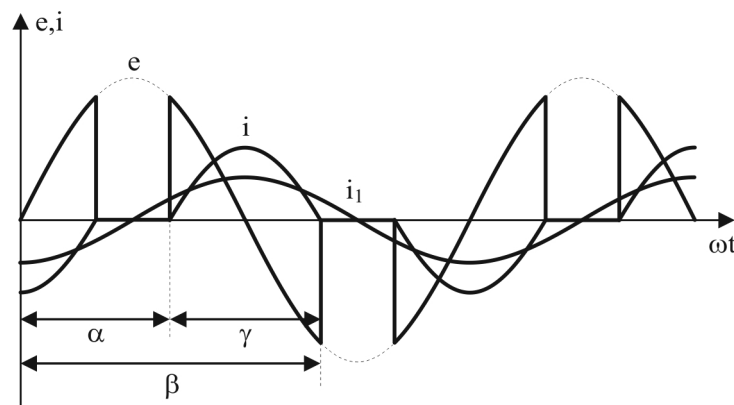
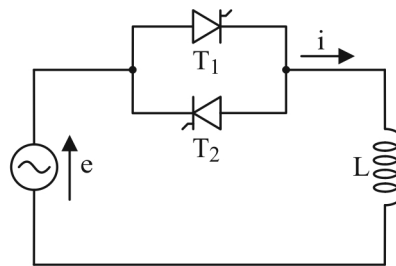
Slika 1.

Rešenje 1. zadatka Trofazni fazni regulator vezan je u trougao, pa kako su faze regulatora međusobno nezavisne, regulator se može posmatrati kao 3 odvojena monofazna fazna regulatora. Na Slici 1.1 prikazana je šema monofaznog faznog regulatora, sa talasnim oblicima napona i struje opterećenja, kao i talasnim oblikom prvog harmonika struje opterećenja. Ulazni napon regulatora je mrežni linijski (međufazni) napon, zadan izrazom:

$$e(\omega t) = U\sqrt{2}\sin(\omega t) \quad (1.1)$$

gde je U efektivna vrednost mrežnog linijskog napona. Za napon opterećenja $u(\omega t)$ važi:

$$u(\omega t) = \begin{cases} U\sqrt{2}\sin(\omega t) & , \alpha \leq \omega t < \beta \\ 0 & , \beta \leq \omega t < \alpha + \pi \\ U\sqrt{2}\sin(\omega t) & , \alpha + \pi \leq \omega t < \beta \\ 0 & , \beta \leq \omega t < \alpha + 2\pi \end{cases} \quad (1.2)$$



Slika 1.1

Kada je uključen tiristor T_1 , važi jednakost:

$$e(\omega t) = L \frac{di(\omega t)}{dt}. \quad (1.3)$$

Rešavanjem integrala, uz početni uslov $i(\alpha) = 0$, dobija se izraz za struju $i(\omega t)$, tokom intervala $\alpha \leq \omega t < \beta$:

$$i(\omega t) = \frac{U\sqrt{2}}{\omega L} (\cos\alpha - \cos\omega t). \quad (1.4)$$

Trenutak kada se tiristor T_1 isključuje je trenutak kada struja i padne na nulu:

$$i(\beta) = 0 = \frac{U\sqrt{2}}{\omega L} (\cos\alpha - \cos\beta) \implies \cos\alpha = \cos\beta. \quad (1.5)$$

Sa Slike 1.1 može se zaključiti da važi $\pi \leq \beta < 2\pi$, pa je:

$$\beta = 2\pi - \alpha. \quad (1.6)$$

Sličnim postupkom, za struju i dobija se, tokom vođenja tiristora T_2 , da je jednaka:

$$i(\omega t) = -\frac{U\sqrt{2}}{\omega L}(\cos\alpha + \cos\omega t). \quad (1.7)$$

Za struju $i(\omega t)$ važi:

$$i(\omega t) = \begin{cases} \frac{U\sqrt{2}}{\omega L}(\cos\alpha - \cos\omega t) & , \alpha \leq \omega t < \beta \\ 0 & , \beta \leq \omega t < \alpha + \pi \\ -\frac{U\sqrt{2}}{\omega L}(\cos\alpha + \cos\omega t) & , \alpha + \pi \leq \omega t < \beta \\ 0 & , \beta \leq \omega t < \alpha + 2\pi \end{cases}. \quad (1.8)$$

Da bi se odredila reaktivna snaga prvog harmonika regulatora, najpre je potrebno odrediti struju prvog harmonika struje trougla. Kako važi $i(\omega t) = i(-\omega t)$ ($i(\omega t)$ je parna funkcija), sledi:

$$A_1 = \frac{1}{\pi} \int_{2\pi} i(\omega t) \sin(\omega t) dt = 0. \quad (1.9)$$

Komponenta B_1 struje prvog harmonika jednaka je:

$$B_1 = \frac{1}{\pi} \int_{2\pi} i(\omega t) \cos(\omega t) dt = \frac{2}{\pi} \int_{\pi} i(\omega t) \cos(\omega t) dt = -\frac{2U\sqrt{2}}{\pi\omega L} \left(\frac{\pi}{3} - \frac{\sqrt{3}}{4} \right). \quad (1.10)$$

Efektivna vrednost struje prvog harmonika jednaka je:

$$I_1 = \sqrt{\frac{A_1^2 + B_1^2}{2}} = \frac{|B_1|}{\sqrt{2}} = \frac{2U}{\pi\omega L} \left(\frac{\pi}{3} - \frac{\sqrt{3}}{4} \right). \quad (1.11)$$

Fazni ugao struje I_1 je:

$$\phi_1 = \arctan \frac{B_1}{A_1} = -\frac{\pi}{2}. \quad (1.12)$$

Ukupna reaktivna snaga prvog harmonika trofaznog faznog regulatora jednaka je trostruko vrednosti reaktivne snage jedne njegove faze:

$$Q_1 = 3U_1 I_1 \sin(\theta_1 - \phi_1) = 3U I_1 \sin(-\phi_1) = 3U \frac{2U}{\pi\omega L} \left(\frac{\pi}{3} - \frac{\sqrt{3}}{4} \right) \sin \frac{\pi}{2}. \quad (1.13)$$

$$Q_1 = 6 \frac{U^2}{\pi \omega L} \left(\frac{\pi}{3} - \frac{\sqrt{3}}{4} \right). \quad (1.14)$$

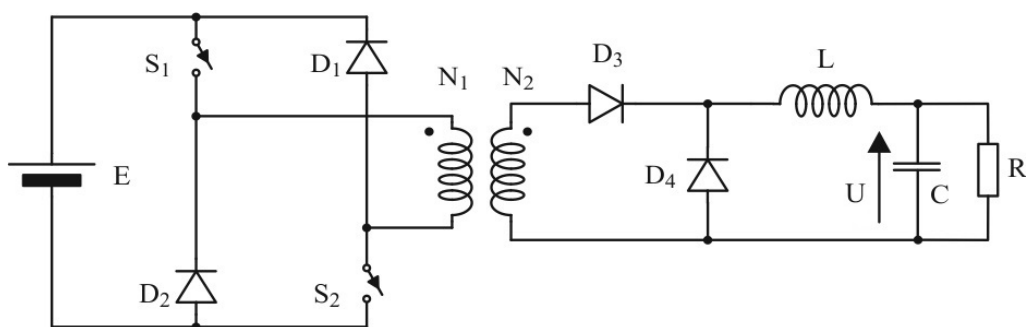
Da bi se reaktivna snaga trofaznog faznog regulatora u potpunosti kompenzovala, neophodno je da reaktivna snaga kompenzatora bude jednaka Q_1 :

$$Q_c = 3\omega CU^2 = 6 \frac{U^2}{\pi \omega L} \left(\frac{\pi}{3} - \frac{\sqrt{3}}{4} \right). \quad (1.15)$$

Oдавде, kapacitivnost kondenzatora C jednaka je:

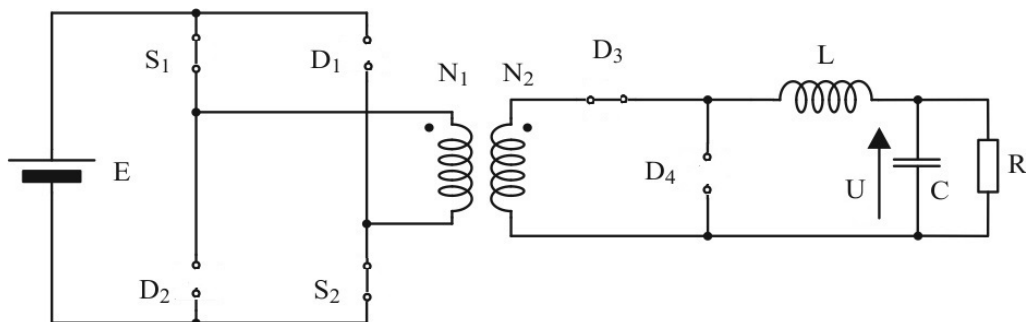
$$C = \frac{6 \frac{U^2}{\pi \omega L} \left(\frac{\pi}{3} - \frac{\sqrt{3}}{4} \right)}{3\omega U^2} = \frac{2 \left(\frac{\pi}{3} - \frac{\sqrt{3}}{4} \right)}{\pi \omega^2 L} = 3.967 \text{ mF}. \quad (1.16)$$

2. zadatak Na ulaz čopera sa Slike 2 priključen je napon E . Dok se transformator magneti (vremenski interval od 0 do DT), napon E jednak je 72 V, dok za preostalo vreme perioda T (vremenski interval od DT do T), napon E ima vrednost od 54 V. Odrediti maksimalnu vrednost *duty-cycle*-a pri kojoj transformator neće ući u zasićenje. Za izračunatu vrednost *duty-cycle*-a odrediti napon na izlazu i srednju vrednost ulazne struje. Prekidačka frekvencija iznosi $f = 10$ kHz, otpornost opterećenja je $R = 10 \Omega$, induktivnost prigušnice L jednaka je 1 mH, induktivnost magnećenja transformatora je $L_m = 10$ mH, a prenosni odnos transformatora $N_1/N_2 = 3$. Pretpostaviti da je kondenzator dovoljno veliki da se može zanemariti valovitost izlaznog napona.



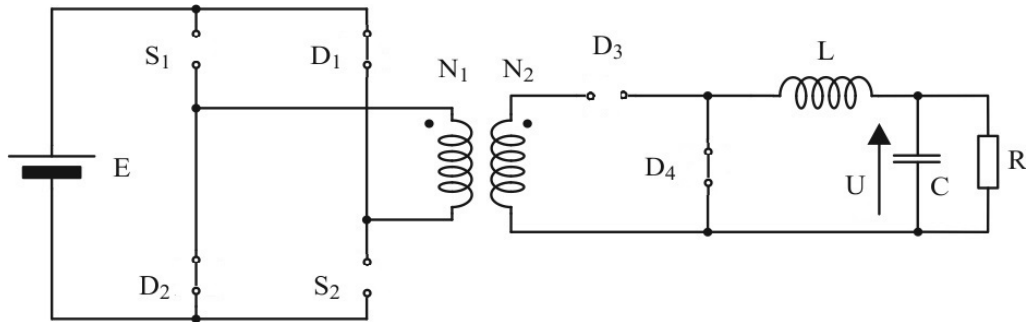
Slika 2.

Rešenje 2. zadatka Tokom dela perioda kada su uključeni prekidači S_1 i S_2 ($0 \dots DT$), napon na primaru transformatora jednak je $U_1^{(1)} = E^{(1)} = 72$ V. Istovremeno, napon na sekundarnu transformatora $U_2^{(1)} = \frac{U_1^{(1)}}{3} = 24$ V, usloviće diodu D_3 da provodi. Diode D_1 , D_2 i D_4 su inverzno polarisane tokom ovog intervala, pa neće provoditi. Napon na prigušnici jednak je razlici napona $U_2^{(1)}$ i U . Struje magnećenja i prigušnice L biće u porastu zbog prisustva pozitivnog napona na njihovim krajevima. Struja primara jednaka je zbiru struje magnećenja i struje prigušnice L , svedene na primar.



Slika 2.1

Nakon što se isključe prekidači, struja magnećenja se ne može naglo promeniti, pa će provesti diode D_1 i D_2 . Napon na krajevima primara sada je jednak negativnoj vrednosti ulaznog napona, odnosno $U_1^{(2)} = -E^{(2)} = -54$ V. Dioda D_3 je inverzno polarisana, dok dioda D_4 provodi. Napon na prigušnici L jednak je $-U$. Struje magnećenja i prigušnice L se smanjuju, usled prisustva negativnih napona na njihovim krajevima. Struja primara jednaka je samo struji magnećenja, jer je struja sekundarnog namotaja jednaka nuli. Ulazna struja je jednaka negativnoj vrednosti struje magnećenja.



Slika 2.2

Transformator neće ući u zasićenje ukoliko je srednja vrednost napona magnećenja tokom jednog perioda T jednaka nuli:

$$\int_T u_m(t) = U_1^{(1)}DT + U_1^{(2)}t_x = 0, \quad (2.1)$$

gde je t_x vreme koje je potrebno struji magnećenja da padne na nulu, računato od trenutka DT , pri čemu mora važiti uslov:

$$t_x \leq (1 - D)T. \quad (2.2)$$

Vreme vođenja prekidača S_1 i S_2 jednako je:

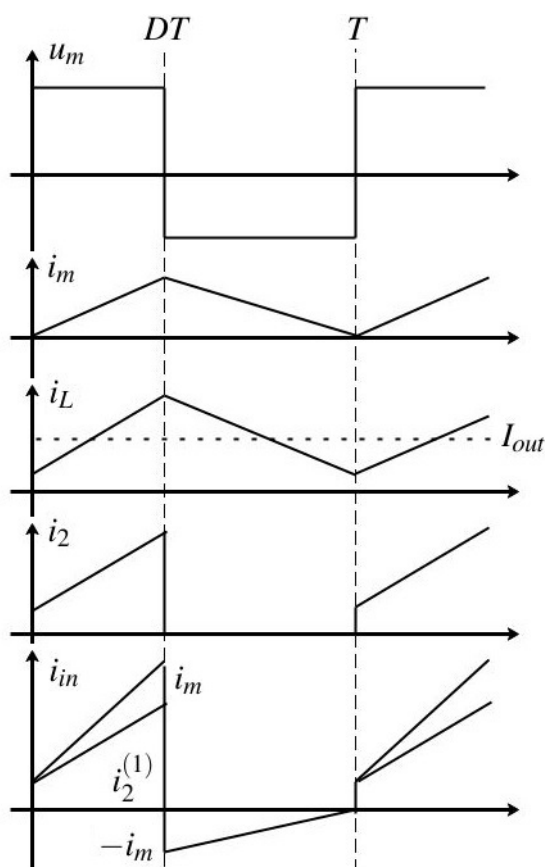
$$DT = \frac{U_1^{(2)}}{U_1^{(1)}}t_x = \frac{3}{4}t_x \leq \frac{3}{4}(1 - D)T, \quad (2.3)$$

tj.:

$$\frac{7}{4}D \leq \frac{3}{4}, \quad (2.4)$$

pa je maksimalna vrednost *duty-cycle*-a pri kojoj transformator neće ući u zasićenje:

$$D_{max} = \frac{3}{7}, \quad (2.5)$$



Slika 2.3

Ukoliko se pretpostavi da je struja prigušnice L neprekidna, za izlazni napon U važi:

$$U = U_2^{(1)} D_{max} = 10.285 \text{ V}, \quad (2.6)$$

Izlazna struja jednaka je:

$$I_{out} = \frac{U}{R} = 1.0285 \text{ A} = I_{L,SR}. \quad (2.7)$$

Ripl struje prigušnice L jednak je:

$$\Delta I_L = \frac{U}{Lf} (1 - D) T = 0.587 \text{ A}. \quad (2.8)$$

Kako je srednja vrednost struje prigušnice veća od polovine ripla struje prigušnice, sledi

da je pretpostavka da je struja prigušnice neprekidna bila ispravna. Maksimalna vrednost struje magnećenja iznosi:

$$I_m = \frac{U_1^{(1)}}{Lf} DT = 0.308 \text{ A.} \quad (2.9)$$

Srednja vrednost ulazne struje i_{in} jednaka je:

$$I_{in} = \frac{1}{T} \int_T i_{in}(t) = \frac{1}{T} \int_0^{DT} (i_2^{(1)} + i_m) dt + \frac{1}{T} \int_{DT}^T (-i_m) dt = \left(\frac{I_{L,sr}}{3} + \frac{I_m}{2}\right) D - \frac{I_m}{2} (1-D) = 0.125 \text{ A.} \quad (2.10)$$