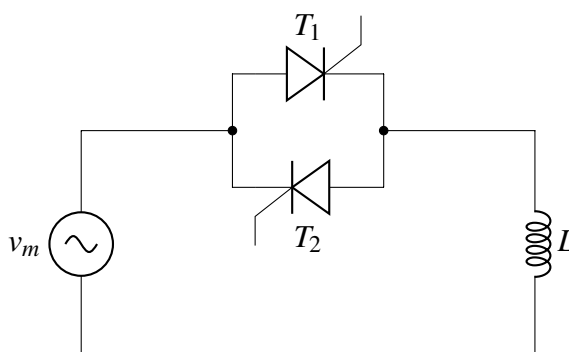


1. zadatak [10 poena] Fazni regulator je na svom ulazu povezan na monofazni mrežni napon efektivne vrednosti $V_m = 230$ V i frekvencije $f = 50$ Hz, a na izlazu na prigušnicu induktivnosti $L = 10$ mH. Trenutak (ugao) kada tiristor T_1 dobija impuls za paljenje u trenutku $\alpha_1 = \pi/2$. Odrediti funkciju zavisnosti srednje vrednosti ulazne struje od ugla paljenja drugog tiristora (α_2), ako se zna da taj ugao može uzeti vrednost iz opsega od π do 2π . Pretpostaviti da tiristori dobijaju dugotrajne impulse za uključenje i da se pri uključanju pretvarača tiristor T_1 uključio pre tiristora T_2 .



Slika 1.

Rešenje 1. zadatka: Opšti izraz za struju prigušnice kada vodi neki od tiristora:

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

gde je sa α označen trenutak (ugao) uključivanja tiristora. Tiristor T_1 se isključuje u trenutku kada njegova struja, koja je istovremeno i struja prigušnice, padne na nulu. Kako je $\alpha_1 = \pi/2$, ugao isključenja jednak je $\beta_1 = 3\pi/2$. To znači da za uglove paljenja drugog tiristora manje od β_1 tiristor T_2 se neće uključiti u trenutku kada dobije impuls za uključenje, ali hoće u trenutku β_1 , jer tiristori dobijaju dugotrajne impulse za uključenje. Sledi da za uglove uključivanja drugog tiristora od π do $3\pi/2$ svaki od tiristora vodi po polovinu perioda, pa je srednja vrednost struje jednaka nuli za navedeni opseg promene ugla α_2 .

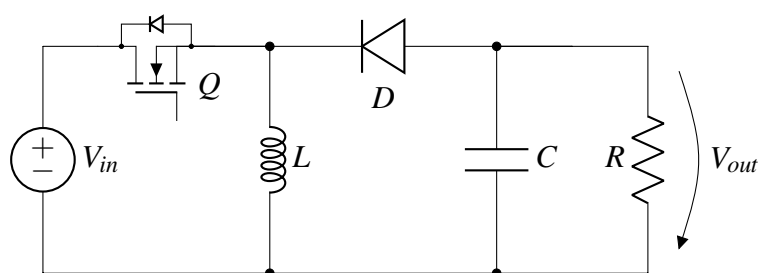
Za ostale vrednosti ugla α_2 važi:

$$I_0 = \frac{1}{2\pi} \int_{2\pi} i dx = \frac{1}{2\pi} \left[\int_{\alpha_1}^{\beta_1} \frac{V_m\sqrt{2}}{\omega L} (\cos \alpha_1 - \cos x) dx + \int_{\alpha_2}^{\beta_2} \frac{V_m\sqrt{2}}{\omega L} (\cos \alpha_2 - \cos x) dx \right], \quad (1.2)$$

gde je $\beta_2 = 4\pi - \alpha_2$ ugao uslučenja tiristora T_2 . Iz prethodnog izraza dobija se sledeći:

$$I_0 = \frac{1}{\pi} \frac{V_m\sqrt{2}}{\omega L} [1 + \sin \alpha_2 + (2\pi - \alpha_2) \cos(\alpha_2)] \quad (1.3)$$

2. zadatak [13 poena] Za čoper prikazan na Slici 2. poznati su sledeći parametri: frekvencija prekidanja $f = 50 \text{ kHz}$, otpornost opterećenja $R = 5 \Omega$, i induktivnost prigušnice $L = 12.5 \mu\text{H}$. Ulazni napon čopera je konstantan i može imati bilo koju vrednost iz opsega od 10 V do 20 V, dok se izlazni napon održava na konstantnoj vrednosti od 15 V. Za koje vrednosti ulaznog napona čoper radi u prekidnom, a za koje u neprekidnom režimu rada? Odrediti opseg promene *duty-cycle*-a D . Zanimariti valovitost napona na kondenzatoru C i gubitke u kolu.



Slika 2.

Rešenje 2. zadatka: Prenosni odnos izlaznog i ulaznog napona za neprekidni režim rada je:

$$V_{out} = V_{in} \frac{D}{1-D}. \quad (2.1)$$

Oдавде, *duty-cycle* u neprekidnom režim se računa po formuli:

$$D = \frac{V_{out}}{V_{in} + V_{out}}. \quad (2.2)$$

Posmatrajući topologiju pretvarača može se zaključiti da je srednja vrednost struje diode jednaka je izlaznoj struji, dok je srednja vrednost struje prekidača jednaka ulaznoj struji. Struja prigušnice jednaka je zbiru struje diode i struje prekidača, pa je srednja vrednost struje prigušnice jednaka zbiru srednjih vrednosti struje diode i struje prekidača :

$$I_L^{avg} = \frac{V_{out}}{R} + \frac{V_{out}^2}{V_{in}R} = \frac{V_{out}}{R} \left(1 + \frac{V_{out}}{V_{in}}\right). \quad (2.3)$$

Ripl struje prigušnice jednak je:

$$\Delta I_L = \frac{V_{out}(1-D)}{Lf} = \frac{V_{out}V_{in}}{Lf(V_{in} + V_{out})}. \quad (2.4)$$

Uslov neprekidnog režima rada jeste da struja diode ne padne na nulu posle trenutka DT , odnosno da je minimalna vrednost struje prigušnice veća od nule:

$$I_L^{avg} \geq \frac{\Delta I_L}{2}. \quad (2.5)$$

Kada se izrazi (2.3) i (2.4) uvrste u (2.5) dobija se da čoper radi u neprekidnom režimu rada za vrednosti ulaznog napona koje su manje od 15 V. Za ovaj skup vrednosti ulaznog napona *duty-cycle* se menja od 0.5 do 0.6.

U prekidnom režimu rada (postupak kako se dolazi do narednog izraza može se naći u 9. zadatku sa vežbi <https://youtu.be/KI5xTebNcLY>) važi odnos:

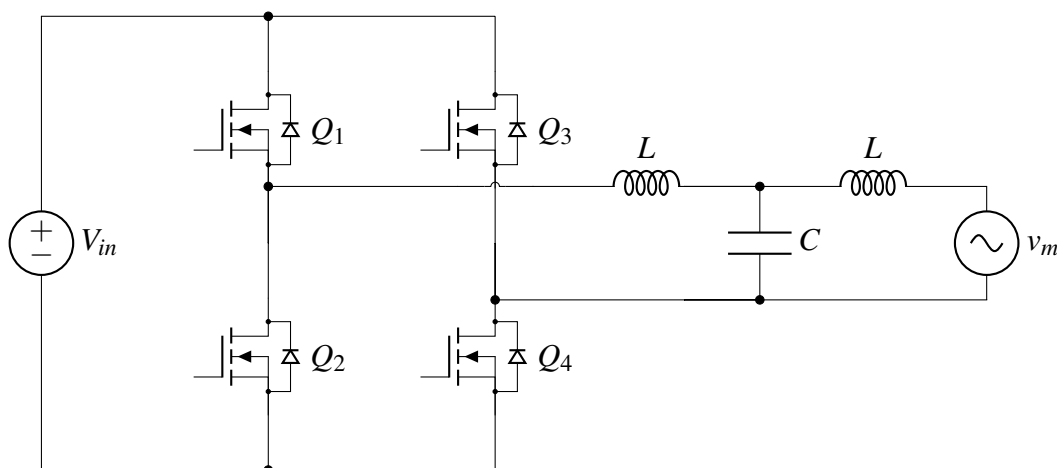
$$V_{out} = V_{in} D \sqrt{\frac{2Lf}{R}}. \quad (2.6)$$

Čoper radi u prekidnom režimu rada za vrednosti napona od 15 V do 20 V. Iz prethodne jednačine može se izvesti zavisnost *duty-cycle*-a od ulaznog napona u prekidnom režimu rada:

$$D = \frac{7.5}{V_{in}}. \quad (2.7)$$

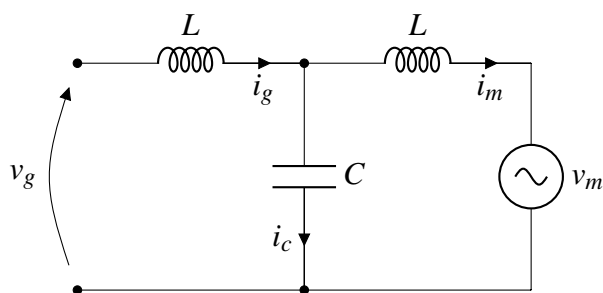
Za vrednosti ulaznog napona od 15 V do 20 V *duty-cycle* se menja u granicama od 0.5 do 0.375.

3. zadatak [12 poena] Monofazni mosni inverter sa Slike 3. priključen je, preko LCL filtra ($L = 0.01$ H, $C = 1 \mu\text{F}$), na monofaznu mrežu $v_m(t) = V_m \sqrt{2} \sin(\omega t + \pi/4)$, gde je $V_m = 230$ V, a $\omega = 2\pi f$ ($f = 50$ Hz). Na ulaz invertora priključen je jednosmerni napon $V_{in} = 600$ V. Kod upravljanja inverterom primenjena je spregnuta modulacija. Ako je poznato da inverter predaje mreži prividnu snagu osnovnog harmonika $\underline{S}_1 = (4 + j \cdot 3)$ kVA, odrediti indeks modulacije i fazni ugao reference. Odrediti faktor snage osnovnog harmonika na priključku na mrežu, kao i na izlazu iz invertorskog mosta.



Slika 3.

Rešenje 3. zadatka: Na Slici 3.1 označeni su naponi i struje filtra.



Slika 3.1

Uz pomoć Laplasove transformacije, može se doći do sledećih izraza:

$$\underline{V}_C = \underline{V}_M + sL\underline{I}_M. \quad (3.1)$$

$$\underline{I}_C = sC\underline{V}_C = sC\underline{V}_M + s^2LC\underline{I}_M. \quad (3.2)$$

$$\underline{I}_G = \underline{I}_C + \underline{I}_M = sC\underline{V}_M + (s^2LC + 1)\underline{I}_M. \quad (3.3)$$

$$\underline{V}_G = \underline{V}_C + sL\underline{I}_G = (s^2LC + 1)\underline{V}_M + sL(s^2LC + 2)\underline{I}_M. \quad (3.4)$$

Kada se uzme $s = j\omega$, tada prethodni izraz postaje:

$$\underline{V}_G = \underline{V}_C + j\omega L\underline{I}_G = (1 - \omega^2LC)\underline{V}_M + sL(2 - \omega^2LC)\underline{I}_M. \quad (3.5)$$

Ukoliko se za referentnu fazu postavi postavi faza mrežnog napona, tada mrežni napon ima samo realni deo (koji je jednak $U_M = 230$ V), odnosno:

$$\underline{V}_G = (1 - \omega^2LC)\underline{V}_M + sL(2 - \omega^2LC)\underline{I}_M. \quad (3.6)$$

Izraz za \underline{I}_M je:

$$\underline{I}_M = \frac{S_1^*}{V_M} = \frac{P_1 - j \cdot Q_1}{V_M} = (17.391 - j \cdot 13.043) \text{ A}. \quad (3.7)$$

Sada izraz (3.6) postaje:

$$\underline{V}_G = (311.69 - j \cdot 109.22) \text{ V}. \quad (3.8)$$

Indeks modulacije jednak je:

$$m = \frac{|\underline{V}_G| \sqrt{2}}{V_{in}} = 0.778. \quad (3.9)$$

Ugao referentnog signala jednak je:

$$\theta_{ref} = 45^\circ + \arg\{\underline{V}_G\} = 64.31^\circ. \quad (3.10)$$

Faktor snage osnovnog harmonika na priključku na mrežu jednak je:

$$\lambda_{m,1} = \frac{P_1}{S_1} = 0.8. \quad (3.11)$$

Prividna snaga osnovnog harmonika na izlazu iz mosta jednaka je:

$$\underline{S}_{g,1} = \underline{V}_G \cdot \underline{I}_G^* = (4 + j5.936) \text{ kVA}, \quad (3.12)$$

pa je faktor snage na izlazu iz invertorskog mosta:

$$\lambda_{g,1} = \frac{4}{\sqrt{(4^2 + 5.936^2)}} = 0.558. \quad (3.13)$$

Napomene:

- Dozvoljena upotreba kalkulatora, grafitne olovke i šablona za crtanje talasnih oblika.
- Svaku tvrdnju u rešenju zadatka potkrepiti kratkim i preciznim objašnjenjem. U suprotnom, zadatak neće biti ocenjen punim brojem poena.
- Student se poziva na usmeni ispit ukoliko ostvari 17.5 poena na pismenom i ukoliko ostvari 32.5 poena u zbiru na pismenom i laboratorijskim vežbama.