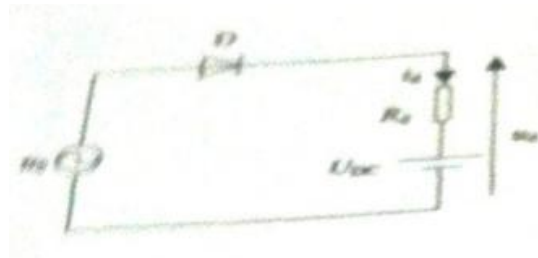


ZAVRŠNI ISPIT IZ UČINSKE ELEKTRONIKE

2012/2013

1. Na slici je prikazan jednofazni poluvalni diodni ispravljač opterećen radnim trošilom i izvorom. Odredite snagu koja se preda istosmjernom izvoru U_{dc} . Napon izmjeničnog izvora je $U_s = 230\sqrt{2} \sin(50 * \pi * 2 * t)$, a istosmjernog $U_{dc} = 150$ V. Otpor R je 5 oma, nacrtajte valne oblike napona i struje trošila.



Rješenje:

$$U_s = 230\sqrt{2} \sin(2\pi 50t)$$

$$U_{dc} = 150 \text{ V}$$

$$R = 5 \Omega$$

Napon trošila jednak je naponu izvora kada je napon izvora veći od napona U_{dc} a u protivnom napon trošila jednak je upravo U_{dc} . Struja trošila teče samo kada je napon izvora veći od napona U_{dc} jer je tada dioda propusno polarizirana. Traži se kut pri kojem napon izvora postaje veći od U_{dc} .

$$230\sqrt{2} \sin(\alpha) = 150 \rightarrow \alpha = \arcsin \frac{150}{230\sqrt{2}} = 27.46^\circ = 0.479 \text{ rad}$$

$$180^\circ - \alpha = 152.54^\circ = 2.662 \text{ rad}$$

Kako bi se odredila snaga koju prima istosmjerni izvor potrebno je naći srednju struju trošila. Struja teče samo kada je napon izvora veći od U_{dc} stoga su granice integracije za srednju struju ranije izračunati kutevi.

$$i_d = \frac{u_d - U_{dc}}{R} = \frac{230\sqrt{2} \sin(\omega t) - 150}{5} = 65.05 \sin(\omega t) - 30$$

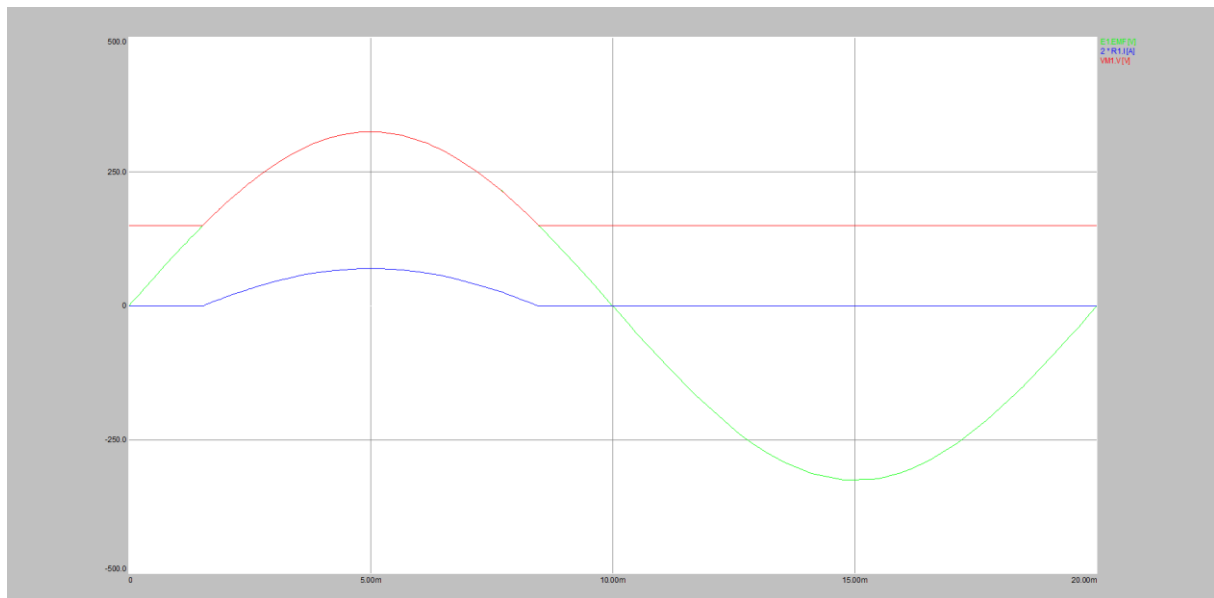
$$i_{d_{avg}} = \frac{1}{2\pi} \left[\int_{0.479}^{2.662} 65.05 \sin(\omega t) d\omega t - \int_{0.479}^{2.662} 30 d\omega t \right]$$

$$i_{d_{avg}} = \frac{1}{2\pi} [-65.05(\cos 2.662 - \cos 0.479) - 30(2.662 - 0.479)]$$

$$i_{d_{avg}} = 7.95 \text{ A}$$

Snaga koju prima istosmjerni izvor jednaka je :

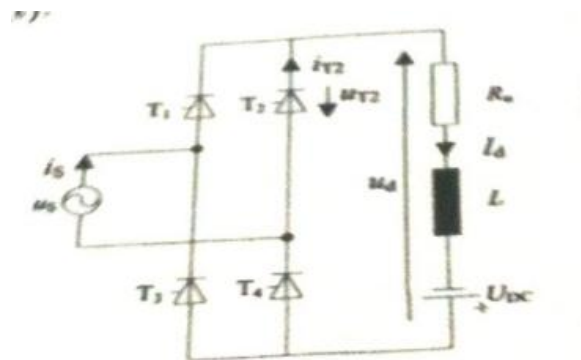
$$P_{dc} = i_{d_{avg}} U_{dc} = 7.95 \cdot 150 = \mathbf{1192 \text{ W}}$$



Napon i struja trošila

Na gornjoj slici crvena boja predstavlja napon trošila, plava struju trošila a zelena napon izvora.

2. Na slici je prikazan usmjerivač preko kojega je na mrežu spojen fotonaponski panel predstavljen istosmjernim izvorom na strani trošila. Efektivna vrijednost mreže je 230 Vm unutarnji otpor panela je 0.5 oma, a induktivitet je dovoljno velik da je struja nevalovita. Za kut upravljanja 135 stupnjeva izracunajte napon pri kojemu ce panel davati mrezi 1000 W. Nacrtajte valne oblike napona i struje trošila, napona i struje izvora i napona i struje tiristora T2.



Rješenje:

Srednji napon trošila može se razmatrati kao istosmjerni naponski izvor pa slijedi da je zbroj napona jednak :

$$U_{dc} + U_d = I_d R$$

Snaga koju predaje DC izvor sastoji se od snage koju predaje mreži (1000W) i snage koja se gubi na otporu.

$$P_{dc} = P_{mreza} + I_d^2 R$$

Iz sljedećeg uvjeta može se izračunati struja trošila :

$$P_{mreza} = U_d I_d = \frac{2U_s}{\pi} \cos \alpha \cdot I_d$$

$$1000 = 2 \cdot \frac{230\sqrt{2}}{\pi} \cos 135 \cdot I_d$$

$$I_d = 6.83 \text{ A}$$

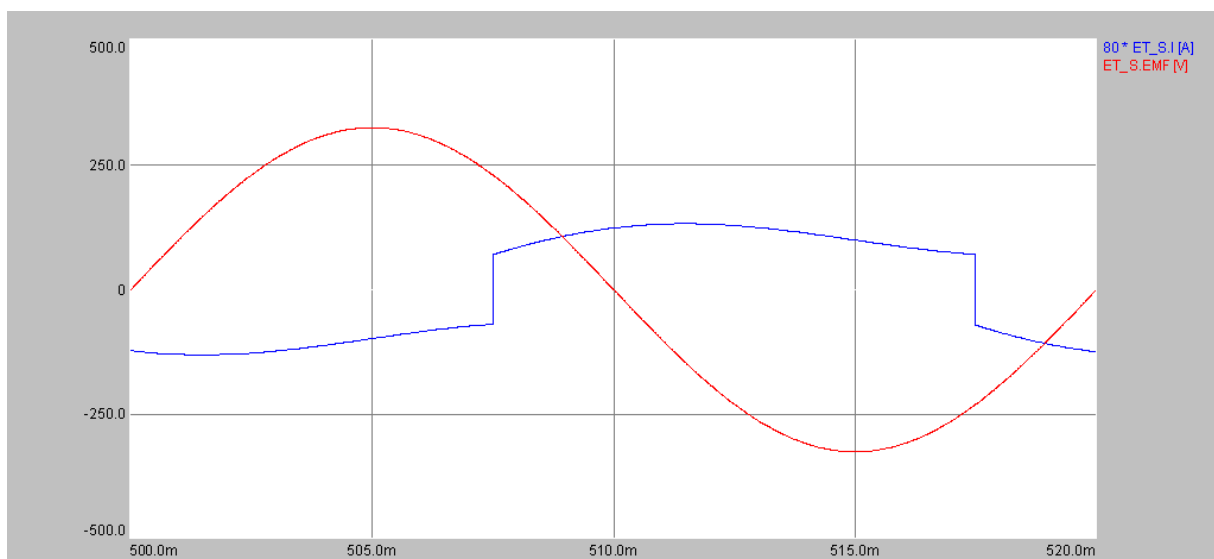
Napomena: struja je uvijek pozitivna jer postoji samo jedan smjer struje kod ovakvog usmjerivača !

Nakon što je poznata struja trošila lako se može izračunati snaga koju predaje DC izvor, a iz toga i potreban napon U_{dc}

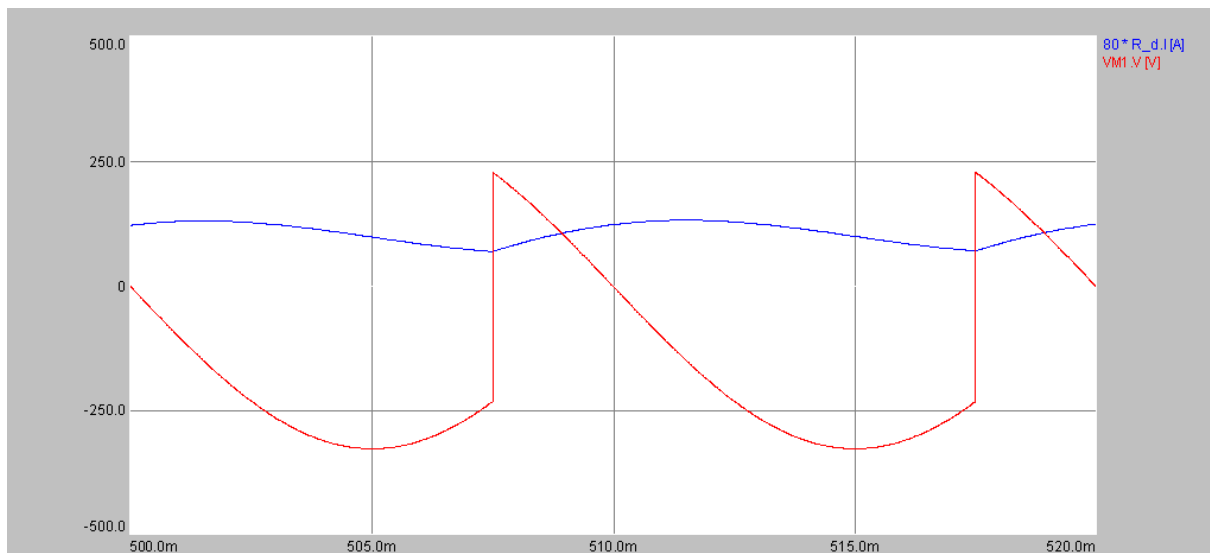
$$P_{dc} = P_{mreza} + I_d^2 R = 1000 + 6.83^2 0.5 = 1023.32 \text{ W}$$

Napon U_{dc} jednak je :

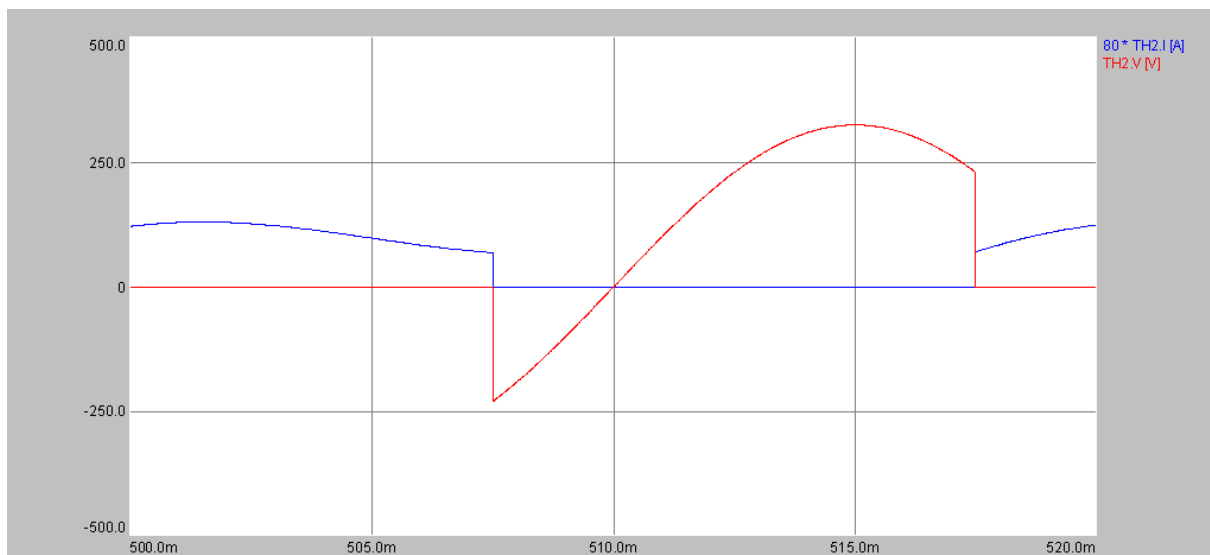
$$P_{dc} = U_{dc} I_d \rightarrow U_{dc} = \frac{P_{dc}}{I_d} = \frac{1023.32}{6.83} = \mathbf{150 \text{ V}}$$



Napon i struja izvora



Napon i struja trošila

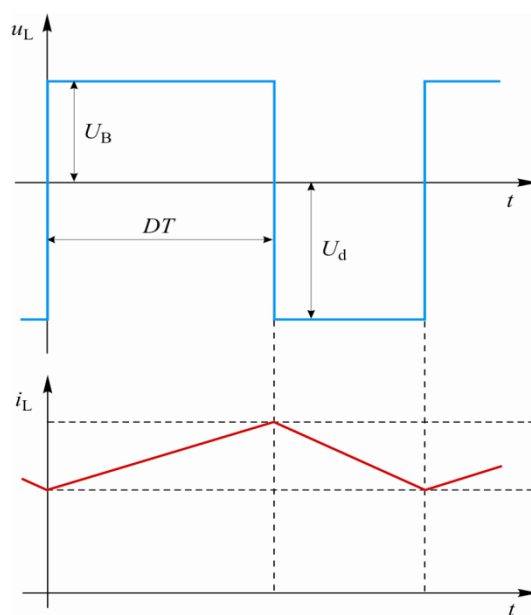
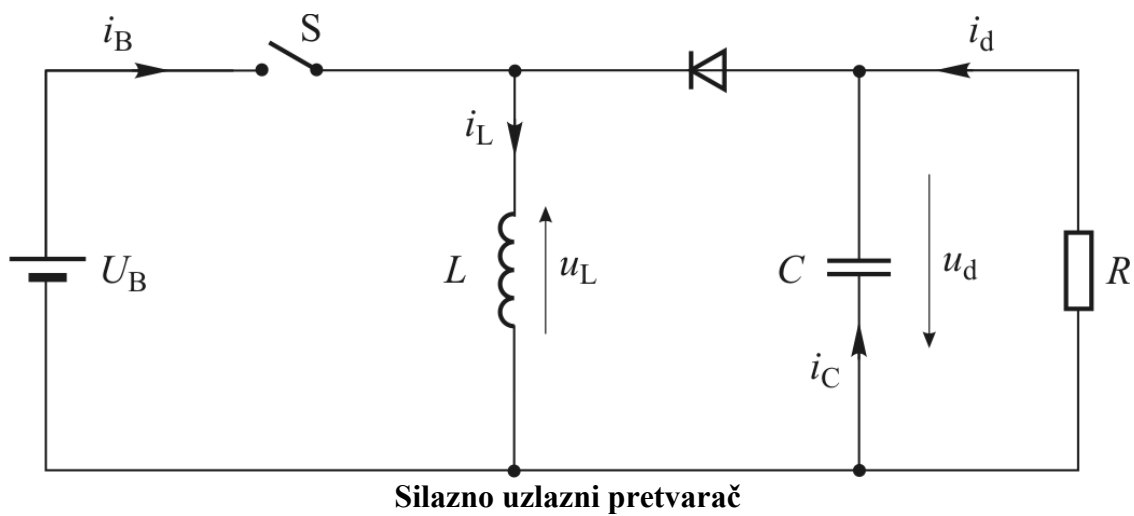


Napon i struja tiristora T2

Na gornjim slikama ucrtati struju bez valovitosti, pošto je tako zadano zadatkom.

3. Nacrtajte silazno uzlazni pretvarač bez galvanskog odvajanja. Izvedite naponsku i strujnu transformatorsku jednadžbu. Izračunajte faktor vođenja pretvarača tako da pretvarač radi na granici isprekidanog načina rada. Izračunajte srednju vrijednost ulazne i srednju vrijednost izlazne struje te minimalnu i maksimalnu struju induktiviteta (I_{Lmin} i I_{Lmax}) za 10% veći faktor vođenja. Izračunajte kapacitet kondenzatora potreban da valovitost izlaznog napona bude manja od 1%. Nacrtajte valni oblik struje i napona induktiviteta. Poznato je: $U_s = 50\text{ V}$, induktivitet $L = 250\text{ }\mu\text{H}$, frekvencija sklapanja $f = 10\text{ kHz}$, otpor trošila $R = 15\text{ }\Omega$.

Rješenje :



Napon i struja induktiviteta

Izvod transformatorske jednadžbe :

$$U_B DT = U_d (1 - D) T$$

$$\frac{U_d}{U_B} = \frac{D}{1 - D}$$

$$I_B U_B = U_d I_d$$

$$\frac{I_d}{I_B} = \frac{1 - D}{D}$$

Za granični slučaj isprekidane struje vrijedi (formula sa slajdova):

$$Lf = \frac{(1-D)^2 R}{2}$$

$$250 \cdot 10^{-6} \cdot 10000 = \frac{(1-D)^2 \cdot 15}{2} \rightarrow D = \mathbf{0.4226}$$

Struja trošila i struja izvora za granični D iznose prema izvedenim formulama :

$$I_d = \frac{U_B \frac{D}{1-D}}{R} = \frac{36.6}{15} = \mathbf{2.44 \text{ A}}$$

$$I_B = I_d \frac{D}{1-D} = \mathbf{1.786 \text{ A}}$$

Za D 10% veći od graničnog slijedi :

$$D' = 1.1 \cdot D = 1.1 \cdot 0.4226 = \mathbf{0.46486}$$

$$I_d = \frac{\frac{U_B D'}{1-D'}}{R} = \frac{43.433}{15} = 2.895 \text{ A}$$

$$I_B = \frac{I_d D'}{1-D'} = 2.515 \text{ A}$$

Srednja struja induktiviteta jednaka je zborju srednjih struja trošila i izvora.

$$I_{L_{avg}} = I_d + I_B = 2.515 + 2.895 = 5.41 \text{ A}$$

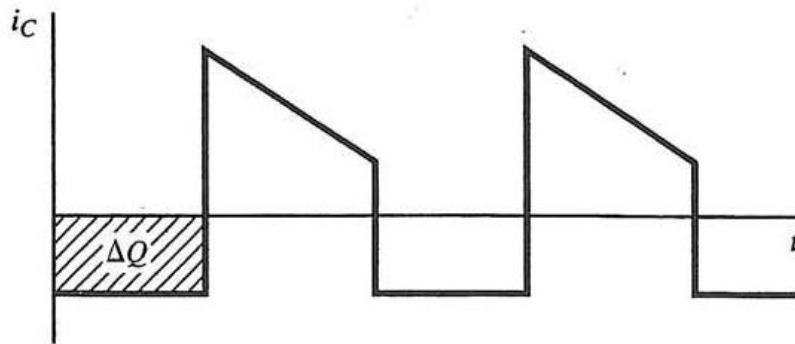
Valovitost se može izračunati iz porasta struje induktiviteta tijekom pozitivnog napona (U_B) na induktivitetu .

$$\Delta I_L = \frac{U_B D' T}{L} = 9.297 \text{ A}$$

Maksimalne i minimalna struja induktiviteta dobiva se dodavanjem odnosno oduzimanjem polovice valovitosti na srednju struju induktiviteta.

$$I_{L_{MAX}} = I_{L_{avg}} + \frac{\Delta I_L}{2} = 5.41 + \frac{9.297}{2} = \mathbf{10.0586 \text{ A}}$$

$$I_{L_{MIN}} = I_{L_{avg}} - \frac{\Delta I_L}{2} = 5.41 - \frac{9.297}{2} = \mathbf{0.7615 \text{ A}}$$



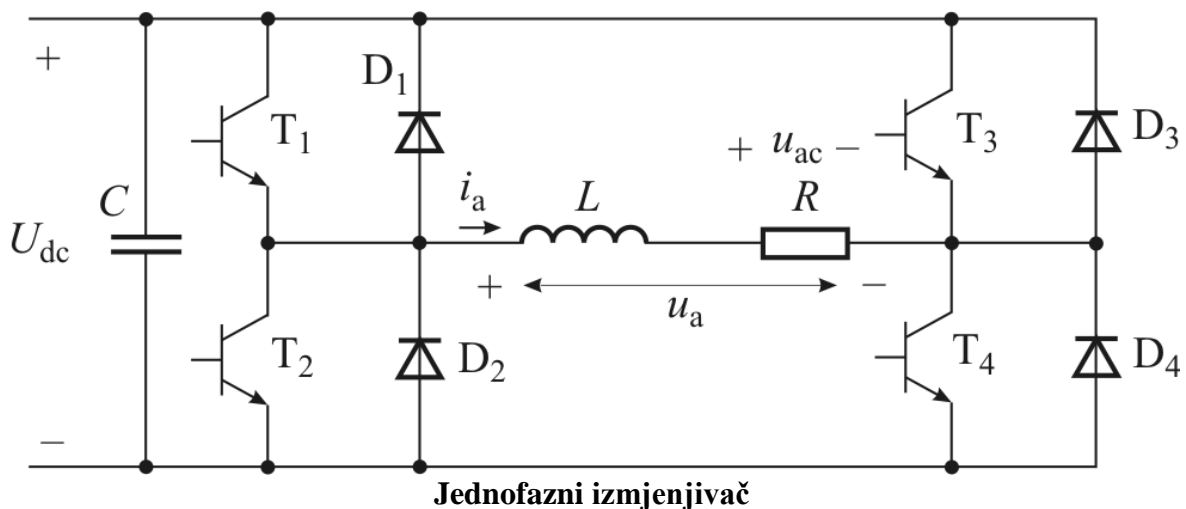
Struja kondenzatora

Za silazno uzlazni pretvarač vrijedi da je valovitost napona trošila jednaka :

$$\frac{\Delta u_0}{U_0} = \frac{D'}{RCf} \rightarrow 0.01 = \frac{0.46486}{15 \cdot 10000 \cdot C}$$

$$C = 309.91 \mu F$$

4. Nacrtajte jednofazni autonomni izmjenjivač s odgovarajućim poluvodičkim ventilima. Izmjenjivač je preko filtra i tiristorskog usmjerivača spojen na jednofaznu izmjeničnu mrežu. Izmjenjivač je opterećen induktivnim trošilom. Neka se trošilu predaje snaga 150 W, uz amplitudni indeks modulacije 0.8 i frekvencijski indeks modulacije 100. Sklopke su upravljane bipolarnom modulacijom širine impulsa. Izračunajte kut upravljanja tiristorskog usmjerivača potreban da bi se osigurala tražena snaga. Pretpostavite da je srednja vrijednost struje induktiviteta istosmjernog međukruga jednaka ? vrijednosti struje trošila. Pretpostavite da je vrijednost napona kapaciteta istosmjernog međukruga jednaka srednjoj vrijednosti izlaznog napona usmjerivača. Također pretpostavite da je struja induktiviteta neisprekidana i nevalovita. Prilikom računanja snage predane trošilu u obzir uzmite samo osnovni harmonik. Napon mreže $U_s = 326.6 \sin(\omega t)$, frekvencija mreže 50 Hz, otpor trošila $R = 10$, induktivitet trošila $L = 20 \text{ mH}$, frekvencija sklapanja $F = 10 \text{ kHz}$.



Rješenje:

Zadana frekvencija sklapanja jednaka je frekvenciji trokutastog signala f_{tr} stoga se uz poznati m_f može dobiti frekvencija referentnog signala f_{ref} koja je jednaka frekvenciji prvog harmonika izlaznog napona f_1 .

$$m_f = \frac{f_{tr}}{f_{ref}} \rightarrow 100 = \frac{10000}{f_{ref}} \rightarrow f_{ref} = f_1 = 100 \text{ Hz}$$

Iz poznate snage može se dobiti efektivna struja prvog harmonika, pošto se razmatra samo osnovni harmonik (zadano zadatkom). Važno je primjetiti da se radna snaga troši samo na otporu. Iz efektivne struje može se dobiti amplituda prvog harmonika.

$$P = I_{1,rms}^2 R \rightarrow 150 = I_{1,rms}^2 10 \rightarrow I_{1,rms} = 3.873 \text{ A}$$

$$I_1 = I_{1,rms} \sqrt{2} = 5.477 \text{ A}$$

Kako bi se dobila amplituda prvog harmonika napona računa se impedancija te je važno uočiti da je frekvencija $f_1 = 100 \text{ Hz}$ (ranije izračunata), a ne 50 Hz jer je to frekvencija mreže sa strane ispravljača (podatak potpuno nebitan za rješavanje zadatka!).

$$Z_1 = \sqrt{R^2 + (2\pi f_1 L)^2} = \sqrt{10^2 + (2\pi \cdot 100 \cdot 20 \cdot 10^{-3})^2} = 16.059 \Omega$$

$$U_1 = I_1 Z_1 = 87.958 \text{ V}$$

Pomoću poznatog m_a dobiva se napon na ulazu u izmjenjivač U_{dc} .

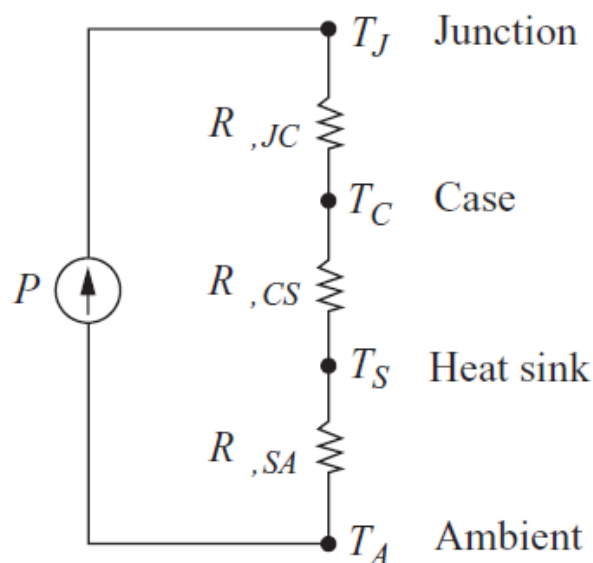
$$m_a = \frac{U_1}{U_{dc}} \rightarrow U_{dc} = \frac{U_1}{m_a} = \frac{87.958}{0.8} = 109.95 \text{ V}$$

Napon U_{dc} jednak je srednjem naponu na izlazu ispravljača pa slijedi :

$$U_{dc} = \frac{2}{\pi} U_s \cos \alpha \rightarrow 109.85 = 2 \cdot \frac{230\sqrt{2}}{\pi} \cos \alpha$$

$$\alpha = 57.92^\circ$$

5. Nacrtajte statičku nadomjesnu toplinsku shemu i izračunajte prijelazni otpor hladnjaka $R_{th,ha} = ?$. Naznačite na shemi toplinskog kruga pojedine elemente i temperature. Temperatura ambijenta 25°C , temperatura silicijske pločice 40°C , struja trošila je nevalovita, napon zasićenja IGBTa je 1.5 V , faktor vođenja $D = 0.7$, frekvencija sklapanja $f_s = 1 \text{ kHz}$, toplinski otpor tranzistora $R_{th,cj} = 0.15$ toplinski otpor hladnjaka $R_{th,ch} = 0.3$, energija uklapanja $E_{on} = 1 \text{ mJ}$, $E_{off} = 1.5 \text{ mJ}$. Otpor je $R = 10 \Omega$, napon izvora je $U_B = 150 \text{ V}$. Nacrtajte valni oblik struje tranzistora.



Toplinska shema

Srednja struja trošila jednaka je :

$$I_d = \frac{DU_B}{R_d} = \frac{0.7 \cdot 150}{10} = 10.5 \text{ A}$$

Kako bi se pronašli gubici vođenja IGBT-a treba pronaći srednju struju IGBT-a. IGBT vodi 0.7 T vremena a ostatak ne vodi pa mu je srednja vrijednost jednaka :

$$I_{T_{avg}} = I_d D = 0.7 \cdot 10.5 = 7.35 \text{ A}$$

Snaga gubitaka u vođenju jednaka je :

$$P_{vođenje} = I_{T_{avg}} U_{ce,s} = 1.5 \cdot 7.35 = 11.025 \text{ W}$$

Snaga gubitaka pri uklapanju jednaka je :

$$P_{ON} = E_{ON} f_s = 1 \cdot 10^{-3} \cdot 1000 = 1 \text{ W}$$

Snaga gubitaka pri isklapanju jednaka je :

$$P_{OFF} = E_{OFF} f_s = 1.5 \cdot 10^{-3} \cdot 1000 = 1.5 \text{ W}$$

Ukupna snaga na IGBT-u jednaka je zbroju prethodnih snaga :

$$P_T = P_{vođenje} + P_{ON} + P_{OFF} = 13.525 \text{ W}$$

Iz formule za toplinske gubitke slijedi ukupni toplinski otpor.

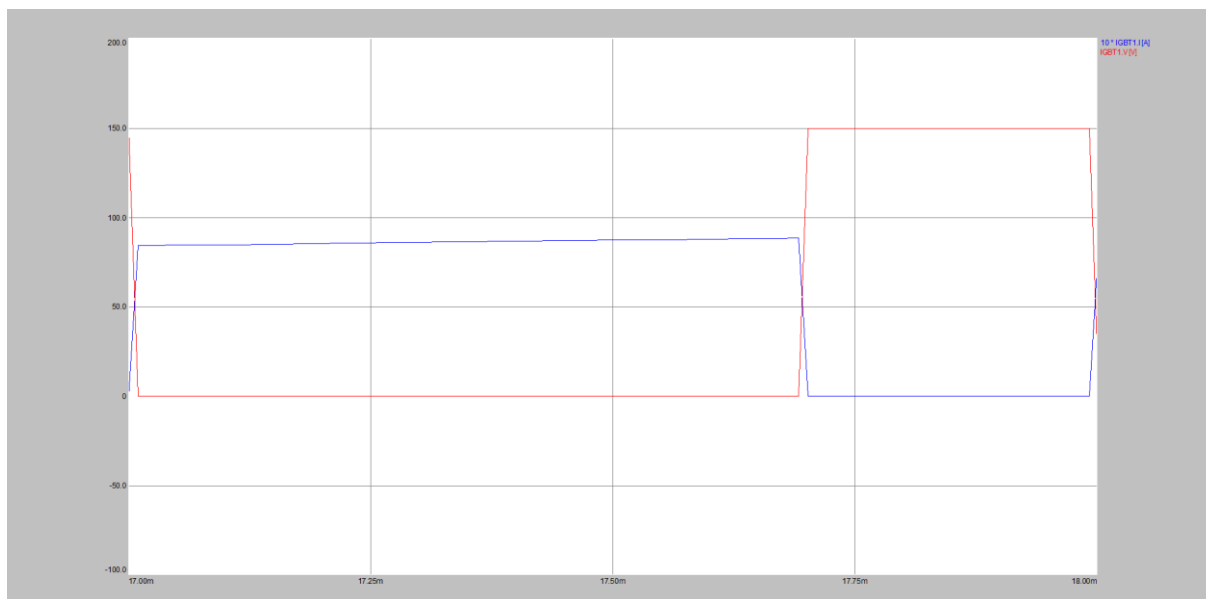
$$P_T = \frac{T_J - T_{amb}}{R_{th,uk}} \rightarrow 13.525 = \frac{40 - 25}{R_{th,uk}} \rightarrow R_{th,uk} = 1.109057 \text{ K/W}$$

Ukupni toplinski otpor sastoji se od toplinskih otpora silicija (junction) prema kućištu (case), kućišta prema hladnjaku (heatsink) i hladnjaka prema okolini (ambient).

$$R_{th,uk} = R_{th,jc} + R_{th,ch} + R_{th,ha}$$

Slijedi da je toplinski otpor hladnjaka prema okolini jednak :

$$1.109057 = 0.3 + 0.15 + R_{th,ha} \rightarrow R_{th,ha} = 0.66 \text{ K/W}$$



Napon i struja IGBT-a

Na slici crvena boja predstavlja napon IGBT-a, a plava struju IGBT-a.



PEČAT

By: ShiN_