

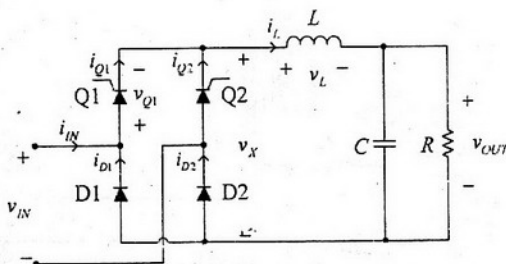
1. Na slici 1 je prikazan ispravljački most koji je priključen na ulazni napon $v_{IN} = 100\sqrt{2} \text{ V} \sin(2\pi(50 \text{ Hz})t)$, opterećen potrošačem koji se može predstaviti otpornikom otpornosti 7.68Ω . Tiristori Q1 se uključuje fazni ugao α nakon uzlaznog prolaska kroz nulu ulaznog napona, a tiristori Q2 se uključuje za ugao α nakon silaznog prolaska kroz nulu ulaznog napona. Ukoliko se drugačije ne naglasi, smatrati da $L \rightarrow \infty$ i $C \rightarrow \infty$.

a) [1] Odrediti zavisnost jednosmerne komponente izlaznog napona od ugla uključivanja tiristora, $V_{OUT}(\alpha)$ i njegovu vrednost za $\alpha = 45^\circ$.

b) [3] Nacrtati i označiti vremenske dijagrame i_{Q1} , i_{Q2} , i_{D1} , i_{D2} , i_L , v_X , v_{C1} , v_{C2} i v_{OUT} za $\alpha = 45^\circ$.

c) [4] Odrediti aktivnu snagu, prividnu snagu, faktor snage i ukupno harmonijsko izobličenje ulazne struje za $\alpha = 45^\circ$.

d) [2] Smatrajući da $L = 4 \text{ H}$ i $C = 400 \mu\text{F}$ primenom usrednjavanja tokom periode mrežnog napona i linearizacije odrediti prenosne funkcije $H_1(s) = \hat{v}_{OUT}(s)/\hat{a}(s)$ i $H_2(s) = \hat{v}_{OUT}(s)/\hat{v}_{RMS}(s)$ za $\alpha_0 = 45^\circ$, gde je V_{RMS} efektivna vrednost ulaznog napona koji je sinusoidalnog oblika.



Slika 1

2. Na slici 2 je prikazan buck konvertor kod koga je frekvencija prekidanja fiksna i iznosi $f_s = 125 \text{ kHz}$. Padovi napona na provodnoj diodi i provodnom prekidaču iznose $V_D = V_S = 0.5 \text{ V}$. Poznato je $v_{IN} = 11 \text{ V}$, $L = 11 \mu\text{H}$, smatrati da $C \rightarrow \infty$ ako se ne naznači drugačije.

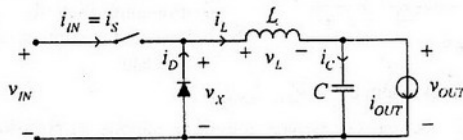
a) [2] Za $i_{OUT} = 1 \text{ A}$ i $v_{OUT} = 5 \text{ V}$ nacrtati i označiti vremenske dijagrame i_{X} , i_D , i_L , i_C , v_X i v_L .

b) [2] Za $D = 0.5$ odrediti zavisnost $v_{OUT}(i_{OUT})$ za $i_{OUT} \geq 0$, nacrtati dijagram i označiti oblasti kontinualnog i diskontinualnog režima rada.

c) [2] Odrediti srednju snagu gubitaka na diodi P_D i na prekidaču P_S , kao i koeficijent korisnog dejstva konvertora η za $i_{OUT} = 1 \text{ A}$ i $v_{OUT} = 5 \text{ V}$.

d) [2] Za $C = 1100 \mu\text{F}$, $i_{OUT} = 1.5 \text{ A}$ i $v_{OUT} = 5 \text{ V}$ odrediti prenosne funkcije $H_1(s) = \hat{v}_{OUT}(s)/\hat{v}_{IN}(s)$ i $H_2(s) = \hat{v}_{OUT}(s)/\hat{a}(s)$.

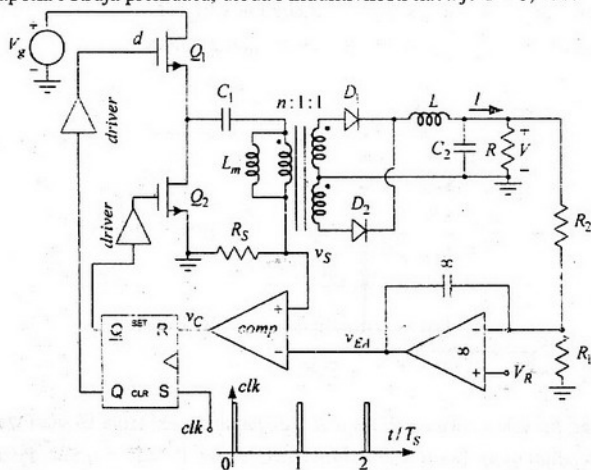
e) [2] Odrediti kolika maksimalna vrednost esr kondenzatora može da se dopusti da pri $i_{OUT} = 2 \text{ A}$ peak to peak ripple izlaznog napona ne predje 40 mV .



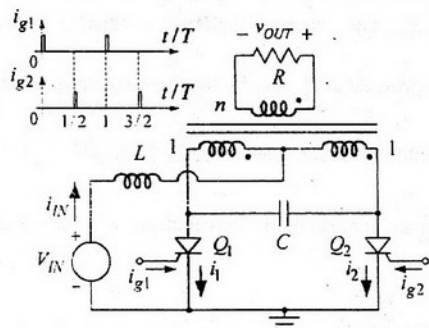
Slika 2

3. Asymmetrical Half-Bridge konvertor sa slike 3 radi u kontinualnom režimu sa konstantnom učestanošću prekidanja $f_s = 1/T_s = 100\text{kHz}$ i strujnim programiranjem. Poznato je: $V_g = 380\text{V}$, $V_R = 2,5\text{V}$, $V_D = 1\text{V}$, $R_S = 1\Omega$, $R_2 = 6,6R_1$, $R_1 + R_2 \gg R$, $C_1 \rightarrow \infty$ i $L_m \rightarrow \infty$. Trajanje taktnih impulsa (clk) je $\Delta \ll T_s$, a pad napona na otporniku R_S za merenje primarne struje je $v_S \ll V_g$. Logički nivoi komparatora i flip-flopa su usklađeni, a kontrolnom logikom je obezbeđeno da tranzistori Q_1 i Q_2 nikad istovremeno ne provode i da je $D_{\max} = 0,45$.

- a) [5] Odrediti minimalne vrednosti induktivnosti L i kapacitivnosti C_2 i prenosni odnos transformatora ako se zahteva da
- potrošnja bude u opsegu $0,3\text{A} \leq I \leq 3,7\text{A}$
 - talasnost izlaznog napona bude $\Delta v_{p-p} \leq 300\text{mV}$
- b) [5] Nacrtati vremenske dijagrame, u ustaljenom stanju u toku jedne periode prekidanja, obeleženih napona i struja prekidača, dioda i induktivnosti kada je $I = 3,7\text{A}$.



Slika 3



Slika 4

4. Invertor sa slike 4 se napaja iz baterije $V_{IN} = 72\text{V}$ i obezbeđuje napajanje potrošaču $R = 18\Omega$. Kondenzator C služi za komutaciju tiristora. Smatrati da je magnetizaciona induktivnost transformatora merena sa sekundarne strane $L_m \rightarrow \infty$ i da su tiristori idealni. Poznato je: $n = 3$, $L = 100\text{H}$ i $T = 20\text{ms}$. Koristiti razumne aproksimacije.

- a) [4] Nacrtati vremenske dijagrame obeleženih struja i napona i napona na prekidačima u toku jedne periode T . Zanemariti uticaj kola za komutaciju tiristora.
- b) [1] Odrediti korisnu snagu P koja se predaje potrošaču.

c) [2] Odrediti stres na prekidačima $S = V_{Opk} I_{Qrms}$.

d) [3] Ako je $C = 10\mu\text{F}$, nacrtati vremenske dijagrame napona na potrošaču v_{OUT} i ulazne struje

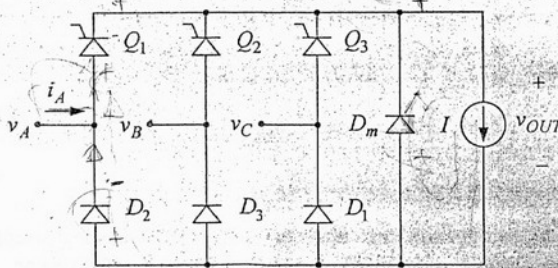
i_{IN} .

1. Na slici 1 je prikazan polukontrolisani trofazni ispravljač u kome se sve upotrebljene komponente mogu smatрати idealnim, dok je: $v_A = V_m \sin(\omega t)$, $v_B = V_m \sin\left(\omega t - \frac{2\pi}{3}\right)$, $v_C = V_m \sin\left(\omega t + \frac{2\pi}{3}\right)$. Tiristori

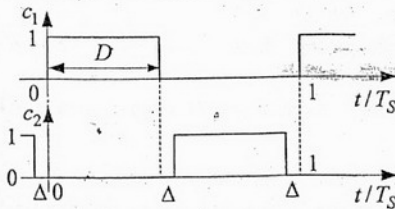
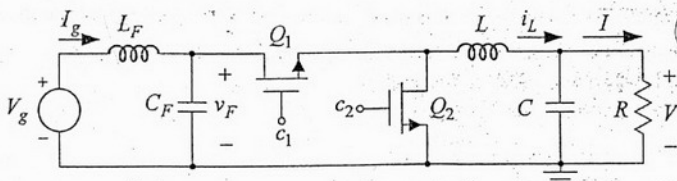
Q_1 , Q_2 i Q_3 uključuju se pri $\theta_1 = \frac{\pi}{6} + \alpha$, $\theta_2 = \frac{5\pi}{6} + \alpha$ i $\theta_3 = \frac{3\pi}{2} + \alpha$, $\theta = \omega t$, $\alpha \geq 0$, respektivno.

Ako je $\alpha = \pi/2$:

- + a) [5] odrediti i nacrtati vremenske dijagrame, u ustaljenom stanju u toku jedne periode mrežnog napona, struja svih dioda i tiristora, struje i_A i napona na izlazu v_{OUT} ;
- + b) [2] odrediti srednju i efektivnu vrednost napona na potrošaču;
- + c) [3] odrediti faktor snage ispravljača.



Slika 1.



Slika 2.

2. Buck konvertor sa slike radi sa konstantnom učestanošću prekidanja $f_s = 300 \text{ kHz}$, dok je: $V_g = 3,3 \text{ V}$, $V = 1,5 \text{ V}$ i $0,5 \text{ A} \leq I \leq 10 \text{ A}$. Smatрати da $\Delta T_S \rightarrow 0$.

a) [5] Ako konvertor uvek radi sa kontinualnom strujom induktivnosti i sve upotrebljene komponente su idealne, odrediti minimalne vrednosti induktivnosti L_F i L i kapacitivnosti C_F i C tako

da:

- talasnost ulazne struje I_g bude $\Delta I_{gp-p} \leq 50 \text{ mA}$;
- talasnost napona na kondenzatoru C_F bude $\Delta v_{Fp-p} \leq 5\% V_F$ i
- talasnost napona na potrošaču V bude $\Delta v_{p-p} \leq 1\% V$.

b) [5] Smatrajući da je talasnost struja induktivnosti i napona na kondenzatorima zanemarljiva, otpornost kalemova $R_{LF} = R_L = 2 \text{ m}\Omega$, otpornost prekidača $R_{ON1} = R_{ON2} = 5 \text{ m}\Omega$, odrediti efikasnost konvertora pri struji potrošača $I = 10 \text{ A}$.

3. Na slici 3.a je prikazan half-bridge konvertor kod koga je $V_{IN} = 120 \text{ V}$, $C_A \rightarrow \infty$, $C_B \rightarrow \infty$, $C \rightarrow \infty$, $L = 24 \mu\text{H}$, $R = 6 \Omega$, pobudni signali za prekidače SA i SB su prikazani na slici 3.b, prekidači i diode se mogu smatrati idealnim. Struja magnetizacije induktivnosti transformatora je dovoljno mala da se u analizi može zanemariti.

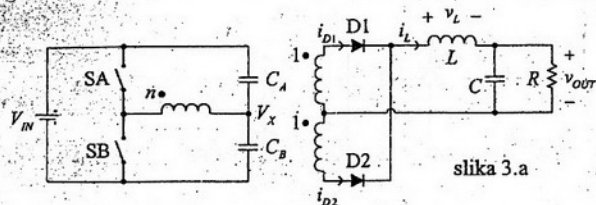
a) [2] Odrediti jednosmernu komponentu napona V_X u kontinualnom režimu rada konvertora.

b) [2] Odrediti prenosni odnos n transformatora tako da izlazni napon konvertora u kontinualnom režimu bude $V_{OUT} = 12 \text{ V}$.

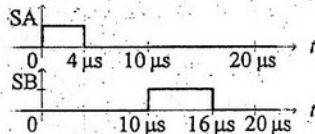
c) [2] Odrediti vremenski dijagram napona v_L na kalemu.

d) [2] Odrediti vremenski dijagram struje kalema i_L .

e) [2] Odrediti opseg otpornosti potrošača R u kome konvertor radi u kontinualnom režimu. $R < 8 \Omega$



slika 3.a



slika 3.b

4. Na slici 4 je prikazan inverter koji služi za spregu jednosmernog vetrogeneratora sa javnom distributivnom mrežom efektivne vrednosti napona $V_{RMS} = 230 \text{ V}$ i frekvencije $f_0 = 50 \text{ Hz}$. Reaktansa spreznog kalema L na mrežnoj učestanosti je $X_L = 10 \Omega$. Vetrogenerator održava konstantan napon $V_{IN} = 600 \text{ V}$. Invertorom se upravlja tako što je prekidačka učestanost $f_s = 1/T_s = 20 \text{ kHz}$ konstantna, tokom dT_s su uključeni prekidači S1 i S4, dok su tokom $d'T_s$ uključeni S2 i S3. Prekidači se mogu smatrati idealnim. U analizi smatrati da je $v_p = V_{RMS} \sqrt{2} \sin(\omega_0 t)$, $\omega_0 = 2\pi f_0$.

Koristeći usrednjavanje tokom periode prekidanja, odrediti:

a) [2] zavisnost \bar{v}_G od V_{IN} i d ;

b) [2] zavisnost \bar{i}_{IN} od \bar{v}_G i d .

Koristeći rezultate dobijene pod a) i b), odrediti:

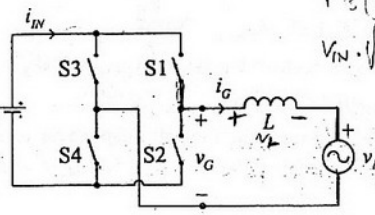
c) [2] napon $\bar{v}_G(\omega_0 t)$ pri kome inverter u mrežu predaje aktivnu snagu od $P = 2.4 \text{ kW}$, pri čemu je reaktivna snaga jednaka nuli;

d) [2] zavisnost $d(\omega_0 t)$ kojom se ostvaruje $\bar{v}_G(\omega_0 t)$ određeno pod c), odgovarajuću zavisnost $\bar{i}_{IN}(\omega_0 t)$, kao i njenu jednosmernu komponentu I_{IN} ;

e) [2] maksimalnu aktivnu snagu koju sa datom reaktansom X_L i ulaznim naponom V_{IN} inverter može da predaje mreži pod uslovom da ne dolazi do zasićenja impulsnog širinskog modulatora (inverter ne radi u "overmodulation" režimu) i da je reaktivna snaga jednaka nuli.

$$v_{IN} = V_{IN} \left(m_1 \cos \omega t - m_2 \cos \left(\omega t + \frac{\pi}{2} \right) \right) = V_{IN} \left(m_1 \cos \omega t - m_2 \cos \left(\omega t + \frac{\pi}{2} \right) \right) = V_{IN} \left(\frac{\sqrt{3}}{2} m_1 \cos \omega t - \frac{1}{2} m_2 \cos \omega t \right) = \sqrt{3} V_{IN} \left(\frac{\sqrt{3}}{2} m_1 \cos \omega t - \frac{1}{2} m_2 \cos \omega t \right) = \sqrt{3} V_{IN} m_1 \cos \left(\omega t - \frac{\pi}{6} \right)$$

$$\frac{3\sqrt{3} V_{IN}}{2\pi} \int_{\frac{\pi}{2}}^{\frac{3\pi}{2}} m_1 \cos \left(\omega t - \frac{\pi}{6} \right) d\omega t = \left[\theta - \frac{\pi}{6} = \theta' \right] = \frac{3\sqrt{3} V_{IN}}{2\pi} \int_{\frac{\pi}{2}}^{\frac{3\pi}{2}} \cos \theta' d\theta' = \frac{3\sqrt{3} V_{IN}}{2\pi} \left(\sin \theta' \Big|_{\frac{\pi}{2}}^{\frac{3\pi}{2}} \right) = \frac{3\sqrt{3} V_{IN}}{4\pi}$$

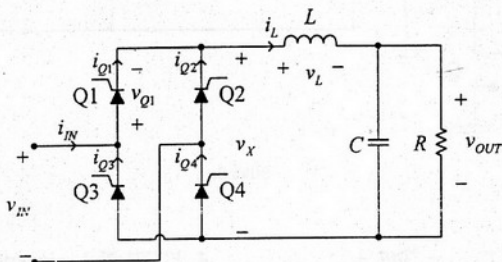


$$\sqrt{\frac{d}{T_s} \int_0^{dT_s} v_{IN}^2 dt + \frac{d'}{T_s} \int_0^{dT_s} v_{IN}^2 dt} = V_{IN} \sqrt{d + (d')^2} = V_{IN}$$

slika 4

1. Na slici 1 je prikazan potpuno upravljivi monofazni tiristorski ispravljački most koji je priključen na ulazni napon $v_{IN} = 100\sqrt{2} V \sin(2\pi(50 \text{ Hz})t)$, opterećen potrošačem koji se može predstaviti otpornikom otpornosti 7.68Ω . Tiristori Q1 i Q4 se uključuju fazni ugao α nakon ulaznog prolaska kroz nulu ulaznog napona, a tiristori Q2 i Q3 se uključuju za ugao α nakon silaznog prolaska kroz nulu ulaznog napona. Ukoliko se drugačije ne naglasi, smatrati da $L \rightarrow \infty$ i $C \rightarrow \infty$.

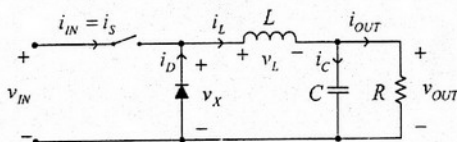
- a) [1] Odrediti zavisnost jednosmerne komponente izlaznog napona od ugla uključenja tiristora, $V_{OUT}(\alpha)$ i njegovu vrednost za $\alpha = 45^\circ$.
- b) [3] Nacrtati vremenske dijagrame i_L , i_{Q1} , i_{Q2} , i_{Q3} , i_{Q4} , i_{IN} , v_X , v_{Q1} , v_L i v_{OUT} za $\alpha = 45^\circ$.
- c) [2] Odrediti aktivnu snagu, prividnu snagu i faktor snage za $\alpha = 45^\circ$.
- d) [2] Smatrajući da $L = 6 \text{ H}$ i $C = 2 \text{ mF}$ primenom usrednjavanja na polovini periode mrežnog napona i linearizacije odrediti prenosnu funkciju $H(s) = \hat{v}_{OUT}(s)/\hat{\alpha}(s)$ za $\alpha_0 = 45^\circ$.
- e) [2] Ako se umesto otpornika R na izlaz ispravljača veže strujni izvor struje $I_{OUT} = 10 \text{ A}$ a ugao uključenja tiristora iz ustaljenog stanja naglo promeni sa 45° na 50° , nacrtati vremenski dijagram izlaznog napona u prelaznom procesu.



Slika 1

2. Na slici 2 je prikazan buck konverter koji radi na granici između kontinualnog i diskontinualnog režima rada tako što se prekidač isključuje kada struja i_S dostigne vrednost $i_{S \max}$ koju zadaje regulator izlaznog napona, a uključuje kada struja diode padne na nulu. Padovi napona na provodnoj diodi i provodnom prekidaču su jednaki i iznose $V_D = V_S = 0.5 \text{ V}$. Poznato je $v_{IN} = 11 \text{ V}$, $R = 5 \Omega$, izlazni napon se reguliše na $v_{OUT} = 5 \text{ V}$, $L = 11 \mu\text{H}$, smatrati da $C \rightarrow \infty$.

- a) [2] Odrediti struju $i_{S \max}$ i odrediti faktor ispunjenosti pobudnih impulsa prekidača (duty ratio).
- b) [2] Nacrtati vremenske dijagrame i_S , i_D , i_L , i_C , v_X i v_L .
- c) [2] Odrediti srednju snagu gubitaka na diodi P_D i na prekidaču P_S , kao i koeficijent korisnog dejstva konvertora η .
- d) [2] Odrediti zavisnosti $i_{S \max}(R)$ i $i_{S \max}(i_{OUT})$.
- e) [2] Odredediti kolika maksimalna vrednost esr kondenzatora može da se dopusti da pri $i_{OUT} = 2 \text{ A}$ peak to peak ripple izlaznog napona ne predje 40 mV .



Slika 2

3. Forward konvertor sa slike 3 radi sa konstantnom učestanošću prekidanja $f_S = 50\text{kHz}$, dok je: $V_g = 48\text{V}$, $V_{D1,2} = V_D = 0,5\text{V}$, $n = 4$, $L_2 = 100\mu\text{H}$, $R = 0,1\Omega$ i $C \rightarrow \infty$. Smatratu da su prekidač Q i dioda D_3 idealnih karakteristika.

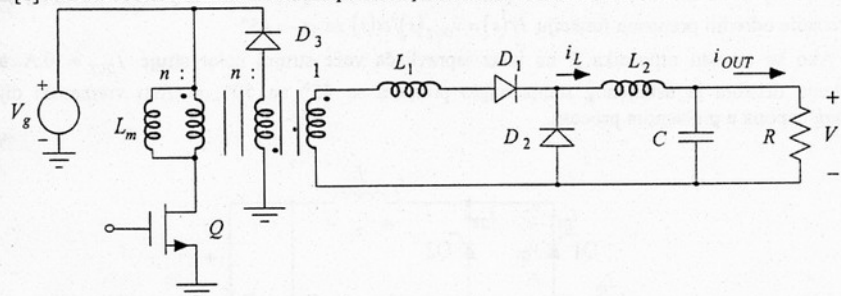
a) [2] Ako je $L_1 = 0$, odrediti opseg vrednosti izlaznog napona V koji se može dobiti promenom odnosa impuls-perioda D .

Sa $D = D_{\text{max}}$ iz prethodne tačke i $L_1 = 0,1\mu\text{H}$, smatrajući da $L_m \rightarrow \infty$ i da se talasnost struje i_L može zanemariti:

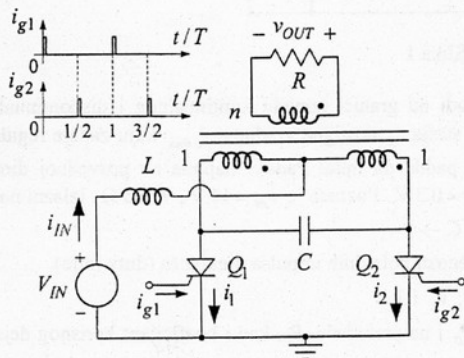
b) [2] odrediti vrednost napona na izlazu V ;

c) [5] nacrtati vremenske dijagrame, u ustaljenom stanju u toku jedne periode prekidanja, napona i struja induktivnosti L_1 i L_2 , prekidača Q i dioda D_1 i D_2 ;

d) [1] odrediti maksimalne inverzne napone na prekidaču i svim diodama.



Slika 3.



Slika 4.

4. PUSH-PULL inverter sa slike 4 se napaja iz baterije $V_{IN} = 72\text{V}$ i obezbeđuje napajanje potrošaču $R = 18\Omega$. Kondenzator C i induktivnost L služe za komutaciju tiristora. Smatratu da je magnetizaciona induktivnost transformatora merena sa sekundarne strane $L_m \rightarrow \infty$ i da su tiristori idealni. Poznato je $n = 3$ i $T = 20\text{ms}$.

a) [4] Nacrtati vremenske dijagrame obeleženih struja i napona i napona na prekidačima u toku jedne periode T . Zanimariti uticaj kola za komutaciju tiristora.

b) [1] Odrediti korisnu snagu P koja se predaje potrošaču.

c) [2] Odrediti stres na prekidačima

$$S = V_{Qpk} I_{Qrms}$$

d) [3] Ako je $L = 762\mu\text{H}$ i $C = 11,9\mu\text{F}$, nacrtati vremenske dijagrame napona na potrošaču v_{OUT} i ulazne struje i_{IN} .

1. Na slici 1 je prikazan boost konvertor male snage koji radi u diskontinualnom režimu. Ulazni napon je $V_{IN} = 5\text{ V}$, a izlazni napon se održava konstantnim na $V_{OUT} = 15\text{ V}$ promenom učestanosti prekidanja f_s . Konvertorom se upravlja tako što je prekidač uključen dok struja kabela $L = 20\text{ }\mu\text{H}$ ne dostigne $i_{L,max} = 1\text{ A}$, nakon čega se prekidač isključuje i ostaje isključen sve do narednog uključjenja koje inicira regulator izlaznog napona.

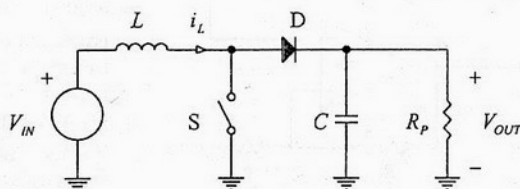
a) [2] Odrediti opseg periode prekidanja $T_s = 1/f_s$ za koji konvertor radi u diskontinualnom režimu.

b) [2] Odrediti opseg snage potrošača u kome konvertor radi u diskontinualnom režimu.

c) [2] Odrediti opseg otpornosti potrošača u kome konvertor radi u diskontinualnom režimu. $R < R_{crit}?$

d) [2] Odrediti zavisnost izlazne struje od učestanosti prekidanja.

e) [2] Odrediti učestanost prekidanja i vremenski dijagram struje kabela za $I_{OUT} = 100\text{ mA}$.



Slika 1

2. Na slici 2 je prikazan forward konvertor kod koga je $n_1 = n_2 = 46$, $L = 18\text{ }\mu\text{H}$, $C = 220\text{ }\mu\text{F}$, $f_s = 100\text{ kHz}$.

Nominalni ulazni napon je $V_{IN} = 24\text{ V}$, a izlazni napon je $V_{OUT} = 5\text{ V}$. Napon na diodama dok su direktno polarisane je $V_D = 1\text{ V}$, kao i napon na prekidaču dok je provodan, $V_S = 1\text{ V}$. Magnetizaciona induktivnost transformatora se može smatrati za jako veliku.

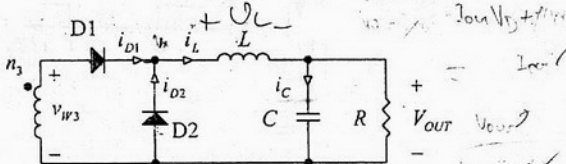
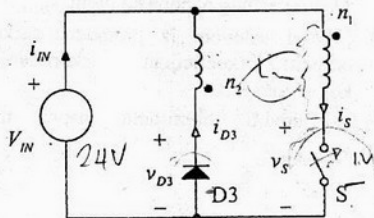
a) [2] Odrediti n_3 tako da u kontinualnom režimu rada prekidač u jednoj periodi bude uključen $0.4/f_s$.

b) [2] Nacrtati vremenske dijagrame struja i napona označenih na slici 2 za $R = 1\text{ }\Omega$.

c) [2] Odrediti minimalnu vrednost V_{IN} za koju dati konvertor sa n_3 sračunato pod a) može da obezbedi $V_{OUT} = 5\text{ V}$ u kontinualnom režimu provođenja.

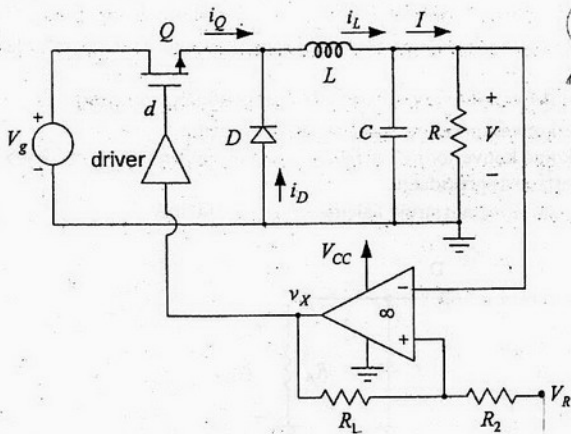
d) [2] Ako je maksimalna predviđena izlazna struja $I_{OUT,max} = 5\text{ A}$, odrediti zavisnost koeficijenta korisnog dejstva od I_{OUT} i maksimalnu vrednost koeficijenta korisnog dejstva. Razmatrati samo kontinualni režim rada.

e) [2] Odrediti prenosnu funkciju $H(s) = \hat{v}_{OUT}(s)/\hat{d}(s)$.



Slika 2

3. U buck konvertoru sa slike 3 ulazni napon i potrošnja se menjaju u opsegu $15V \leq V_g \leq 25V$ i $2A \leq I \leq 5A$. Prekidački tranzistor i operacioni pojačavač se mogu smatrati idealnim, dok je $V_{CC} = 12V$, $V_D = 0,5V$, $L = 50\mu H$, $C = 100\mu F$ i $R_2 = 1k\Omega$.



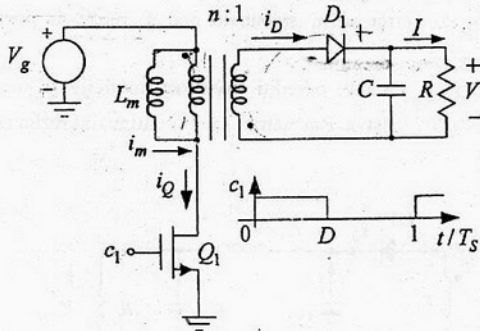
Slika 3

a) [2] Odrediti otpornost R_1 i napon V_R tako da srednja vrednost izlaznog napona bude $V = 5V$, a talasnost $\Delta v_{p-p} = 1\%V$.

b) [4] Odrediti zavisnost prekidačke učestanosti konvertora u funkciji ulaznog napona $f_s = f(V_g)$. Pri proračunu struje induktivnosti zanemariti talasnost izlaznog napona.

c) [4] Ako je $V_g = 15V$ i $I = 5A$, odrediti i nacrtati vremenske dijagrame, u toku jedne periode u ustaljenom stanju, obeleženih struja i napona v_X .

4. Na slici 4 je prikazan flyback konvertor koji radi sa konstantnom učestanošću prekidanja $f_s = 100kHz$, pri čemu je $D \leq D_{max} = 0,5$. Ulazni napon se menja u opsegu $40V \leq V_g \leq 60V$, dok je $V = 12V$, $0,1A \leq I \leq 1A$. Prekidački tranzistor se može smatrati idealnim, pad napona na provodnoj diodi je $V_D = 0,5V$, a smatrati da je talasnost izlaznog napona zanemarljiva.



Slika 4

a) [3] Odrediti prenosni odnos transformatora n i maksimalnu vrednost magnetizacione induktivnosti L_{mmax} za koju konvertor uvek radi u diskontinualnom režimu.

b) [4] Za $V_g = 40V$ i $I = 1A$ odrediti i nacrtati vremenske dijagrame, u ustaljenom stanju u toku jedne periode, obeleženih struja, napona na prekidaču Q_1 i inverznog napona na diodi v_{D1inv} .

c) [1] Pod uslovom iz prethodne tačke odrediti koeficijent iskorišćenja konvertora η .

d) [1] Odrediti maksimalni napon na

prekidaču v_{Q1max} i maksimalni inverzni napon na diodi $v_{D1invmax}$.

e) [1] Odrediti stres S na prekidaču Q_1 .