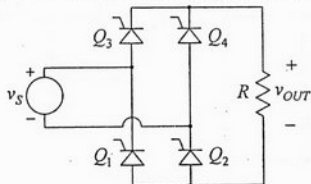


1. Na slici 1 je prikazan monofazni tiristorški ispravljač. Tiristori  $Q_2, Q_3$  i  $Q_1, Q_4$  se uključuju sa međusobnim faznim pomerajem od  $180^\circ$ , pri čemu se ugao uključjenja  $\alpha$  meri od uzlaznog prolaska kroz nulu faznog napona do uključjenja tiristora  $Q_2$ . Poznato je:  $v_s = V_{sm} \sin(2\pi ft)$ ,  $V_{sm} = 220\sqrt{2}$  V,  $f = 50$  Hz i  $R = 100 \Omega$ .

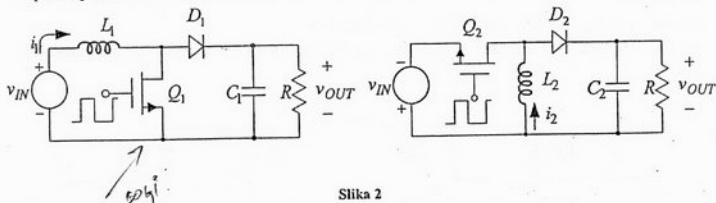
- (a) [3] Ako je  $\alpha = 30^\circ$ , nacrtati vremenske oblike struja svih tiristora i napona  $v_{OUT}$ .  
 (b) [2] Odrediti zavisnost srednje vrednosti izlaznog napona od ugla  $\alpha$ .  
 (c) [3] Odrediti zavisnost faktora snage od ugla  $\alpha$ .  
 (d) [2] Odrediti zavisnost ukupnih harmonijskih izobličenja od ugla  $\alpha$ .



Slika 1

2. Na slici 2 prikazana su dva DC-DC konvertora (Boost i Buck-Boost) koji iz istog ulaznog napona  $v_{IN} = 12$  V na potrošaču  $R = 2,8 \Omega$  ostvaruju konstantan napon  $v_{OUT} = 28$  V. Smatrati da su talasnosti struja induktivnosti zanemarljive, tj.  $i_1 = I_1$  i  $i_2 = I_2$ , kao i talasnosti napona na kondenzatoru, tj.  $v_{C1} = V_{OUT}$  i  $v_{C2} = V_{OUT}$ , dok je  $V_D = 1$  V i  $f_s = 50$  kHz.

- (a) [3] Ako su upotrebljeni prekidači idealni, za oba konvertora odrediti i nacrtati vremenske dijagrame struje induktivnosti, struja prekidača i diode i napona na njima.  
 (b) [2] Odrediti stres na prekidačima  $Q_1$  i  $Q_2$ .  
 (c) [5] Ako su otpornosti prekidača  $Q_1$  i  $Q_2$ ,  $R_{ON1} = R_{ON2} = R_{ON} = 50$  m $\Omega$ , odrediti koeficijent iskorišćenja za oba konvertora. Sa stanovišta efikasnosti, koji konvertor je bolji za datu aplikaciju?



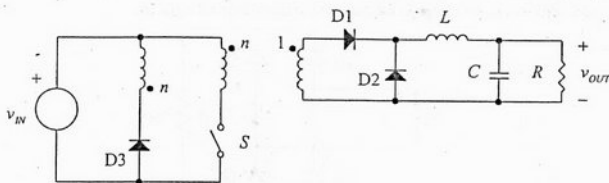
Slika 2

3) Na slici 3 je prikazan forward konvertor kod koga je izlazni napon regulisan na 5V. Poznato je:  $f_s = 100 \text{ kHz}$ ,  $L = 18 \mu\text{H}$ ,  $n = 20$ ,  $C$  je dovoljno veliko da se talasnost izlaznog napona može zanemariti, pad napona na diodama D1 i D2 kada provode je  $V_D = 1 \text{ V}$ , pad napona na D3 i na S se može zanemariti.

a) [4] Za  $v_{IN} = 300 \text{ V}$  i  $R = 2.5 \Omega$  nacrtati vremenske dijagrame struja i napona na D1, D2, D3 i S.

b) [3] Odrediti najniži napon  $v_{IN}$  pri kome može da se na izlazu obezbedi nominalni napon.

c) [3] Ako je probojni napon za D3 i S 800V, odrediti maksimalni  $v_{IN}$  pri kome ovi elementi ne probijaju. Koliki je u tom slučaju maksimalni inverzni napon na D1 i D2?



Slika 3.

4. Na slici 4 je prikazan sistem za upravljanje sinhronim motorom koji se sastoji od ispravljača koga čine tiristori Q1 do Q4 i strujnog invertora koji čine tiristori Q5 do Q8. Induktivnost kabela  $L$  je dovoljno velika da se talasnost njegove struje može zanemariti. Invertorskim tiristorskim mostom se upravlja tako da je  $i_M = i_L \text{ sgn}(\sin(\omega_M t))$ . Kontraelektromotorna sila koju stvara motor data je sa  $v_M = V_M \sin(\omega_M t + \varphi_M)$ . Ulazni napon je  $v_{IN} = V_{IN} \sin(\omega_t t)$ .

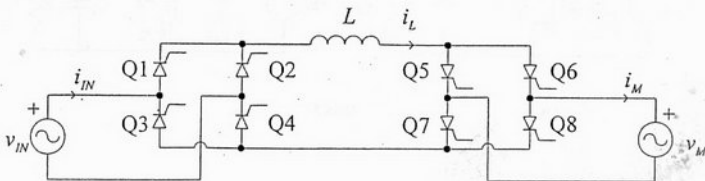
a) [2] Odrediti opseg ugla  $\varphi_M$  na intervalu  $(0, 2\pi)$  za koji je moguće izvršiti komutaciju tiristora.

b) [2] Ako se tiristori Q1 i Q4 u ispravljačkom mostu uključuju fazni ugao  $\alpha$  nakon uzlaznog prolaska kroz nulu ulaznog napona, a tiristori Q2 i Q3 fazni ugao  $\pi$  nakon uključjenja Q1 i Q4, odrediti zavisnost  $\alpha$  od  $V_{IN}$ ,  $V_M$  i  $\varphi_M$  u ustaljenom stanju.

c) [2] Za  $V_M = \sqrt{2} V_{IN}$  odrediti opseg ugla  $\varphi_M$  za koji je u kolu moguće uspostaviti ustaljeno stanje sa strujom kabela različitom od nule.

d) [2] Za  $V_M = \sqrt{2} V_{IN}$ ,  $\alpha = 0$ ,  $\omega_M = 2\omega_0$  i  $i_L = 50 \text{ A}$  nacrtati vremenske dijagrame struja  $i_M$  i  $i_{IN}$  i napona  $v_M$  i  $v_{IN}$  tokom jedne periode ulaznog napona.

e) [2] Za slučaj d) odrediti faktor snage na ulazu i ukupno harmonijsko izobličenje ulazne struje.



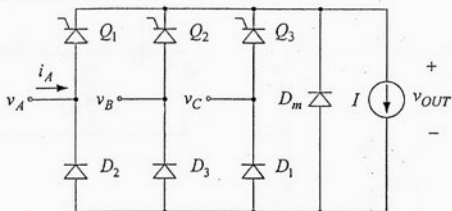
Slika 4.

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

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  $\alpha = \pi/2$ :

- [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,  $v_{OUT}$ ;
- [2] odrediti srednju i efektivnu vrednost napona na potrošaču;
- [3] odrediti faktor snage ispravljača.



Slika 1.

2. U DC-DC konvertoru sa slike 2 kolom kontrolne elektronike obezbeđuje se da izlazni napon ima konstantnu vrednost kada se ulazni napon i potrošnja menjaju u opsegu  $15V \leq V_g \leq 18V$  i  $0,5A \leq I \leq 5A$ . Oscilator generiše periodične kratkotrajne impulse (slika 2) čije je trajanje

$\Delta t \ll T_s = 10\mu s$ , a može se smatrati da je prekidački tranzistor idealnih karakteristika. Poznato je:

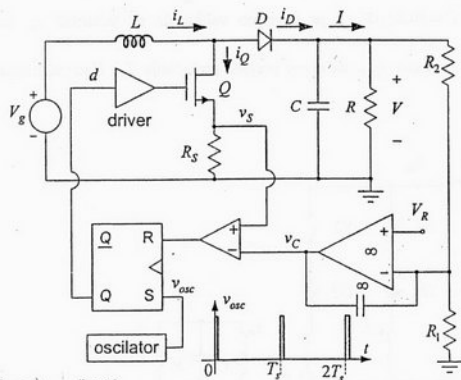
$V_D = 0,6V$ ,  $R_S = 33m\Omega$ ,

$L = 100\mu H$ ,  $C \rightarrow \infty$ ,  $V_R = 5V$ ,

$R_2 = 46k\Omega$ ,  $R_2 \gg R$  i

$R_1 = 10k\Omega$ .

- [6] Odrediti i nacrtati vremenske dijagrame, u toku jedne periode  $T_s$  u ustaljenom stanju, obeleženih napona i struja i upravljačke promenljive  $d$  kada je  $V_g = 15V$  i  $I = 5A$ . Pri proračunu struja induktivnosti, prekidača i diode zanemariti pad napona na otpornosti  $R_S$ .



Slika 2.

$$R_1, R_2 \gg R$$

$$V_{out} = \frac{V_g}{1 + \frac{R_1}{R_2}}$$

$$V_{osc} = V_{ref}$$

$$V_{in} = V_g$$

$$V_{out} = \frac{V_g}{1 + \frac{R_1}{R_2}}$$

$$V_{in} = V_g$$

$$V_{out} = \frac{V_g}{1 + \frac{R_1}{R_2}}$$

$$V_{in} = V_g$$

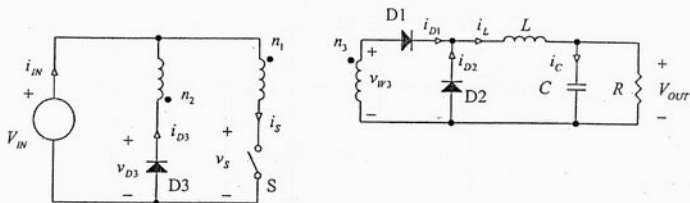
$$V_{out} = \frac{V_g}{1 + \frac{R_1}{R_2}}$$

$$V_{in} = V_g$$

$$V_{out} = \frac{V_g}{1 + \frac{R_1}{R_2}}$$

3. Na slici 3 je prikazan forward konvertor kod koga je  $n_1 = n_2 = 46$ ,  $L = 18 \mu\text{H}$ ,  $C = 220 \mu\text{F}$ ,  $f_s = 100 \text{ kHz}$ . 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,  $V_S = 1 \text{ V}$ . Uticaj magnetizacije induktivnosti transformatora se može zanemariti.

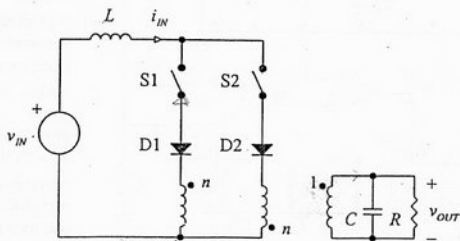
- Odrediti  $n_3$  tako da u kontinualnom režimu rada prekidač u jednoj periodi bude uključen  $0.4/f_s$ .
- Nacrtati vremenske dijagrame struja i napona označenih na slici 3 za  $R = 1 \Omega$ .
- Odrediti opseg  $R$  za koji konvertor radi u kontinualnom režimu.
- Odrediti minimalnu vrednost  $V_{IN}$  za koju dati konvertor sa  $n_3$  izračunato pod a) može da obezbedi  $V_{OUT} = 5 \text{ V}$ .
- Pri izlaznoj struji  $I_{OUT} = 5 \text{ A}$  odrediti koeficijent korisnog dejstva.



Slika 3.

4. Na slici 4 je prikazan strujni invertor. Prekidač S1 je uključen tokom  $dT_s$ , a prekidač S2 je uključen tokom  $d'T_s$ . Poznato je:  $v_{IN} = 300 \text{ V}$ ,  $n = 2$ ,  $d = \frac{1}{2}(1 + m \sin(\omega t))$ ,  $-1 < m < 1$ ,  $\omega = 100\pi \text{ rad/s}$ ,  $R = 35.35 \Omega$ ,  $C = 90.03 \mu\text{F}$ ,  $L$  je dovoljno veliko da se talasnost  $i_{IN}$  može zanemariti.

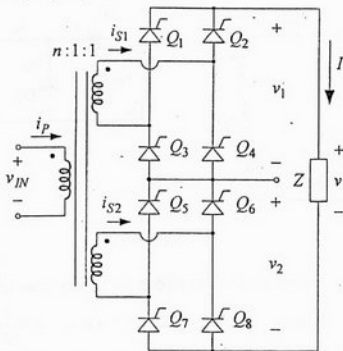
- Za  $m = 0.75$  odrediti srednju vrednost  $v_{OUT}$  na nivou periode prekidanja  $T_s$ . Nacrtati i označiti vremenski dijagram.
- Odrediti zavisnost  $i_{IN}$  od  $m$ .



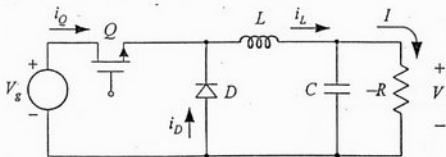
Slika 4.

1. Na slici 1 je prikazan monofazni serijski tiristoriski ispravljač. Tiristorima  $Q_1, Q_2, Q_3, Q_4$  nezavisno se upravlja od tiristora  $Q_5, Q_6, Q_7, Q_8$ . Tiristori  $Q_1, Q_4$ , odnosno  $Q_5, Q_8$  i  $Q_2, Q_3$ , odnosno  $Q_6, Q_7$ , se uključuju sa međusobnim faznim pomerajem od  $180^\circ$ . Ugao uključjenja  $\alpha_1$ , odnosno  $\alpha_2$ , meri se od uzlaznog prolaska faznog napona kroz nulu do uključjenja tiristora  $Q_2, Q_3$ , odnosno  $Q_6, Q_7$ . Poznato je:  $v_{IN} = 220\sqrt{2}V \cdot \sin(2\pi ft)$ ,  $f = 50\text{Hz}$ ,  $n = 2$ ,  $I = 10\text{A}$ ,  $\alpha_1 = \pi/2$  i  $\alpha_2 = \pi$ .

- [5] Odrediti i nacrtati vremenske dijagrame označenih struja, struja svih tiristora i označenih napona.
- [2,5] Odrediti srednju i efektivnu vrednost izlaznog napona.
- [2,5] Odrediti faktor snage ispravljača.



Slika 1



Slika 2

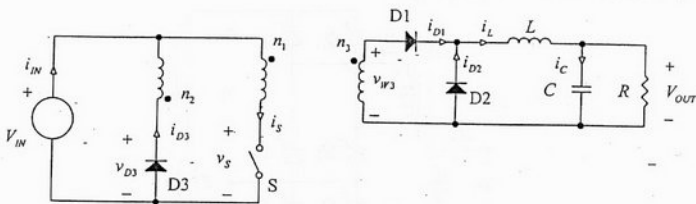
2. Buck konvertor sa slike 2 ima ulazni napon koji se menja u opsegu  $35\text{V} \leq V_g \leq 70\text{V}$ . Kada je snaga koja se predaje potrošaču u opsegu  $10\text{W} \leq P \leq 1000\text{W}$ , kolom povratne sprege, promenom odnosa impuls-perioda  $D$ , se obezbeđuje da je napon na potrošaču konstantan  $V = 28\text{V}$ . Upotrebljeni prekidač i dioda

mogu se smatrati idealnim, a poznato je  $L = 22\mu\text{H}$ ,  $C = 470\mu\text{F}$  i  $f_s = 75\text{kHz}$ .

- [3] U  $V_g - I$  ravni ucrtati krivu koja razdvaja oblast kontinualnog i diskontinualnog režima rada konvertora.
- [4] Odrediti opseg vrednosti odnosa impuls-perioda  $D_{\min} \leq D \leq D_{\max}$ .
- [3] Ako je  $V_g = 48\text{V}$  i  $P = 100\text{W}$ , odrediti i nacrtati, u toku jedne prekidačke periode, vremenske dijagrame obeleženih struja.

3. Na slici 3 je prikazan forward konverter kod koga je  $n_1 = n_2 = 46$ ,  $L = 18 \mu\text{H}$ ,  $C = 220 \mu\text{F}$ ,  $f_s = 100 \text{ kHz}$ . 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,  $V_S = 1 \text{ V}$ . Uticaj magnetizacije induktivnosti transformatora se može zanemariti.

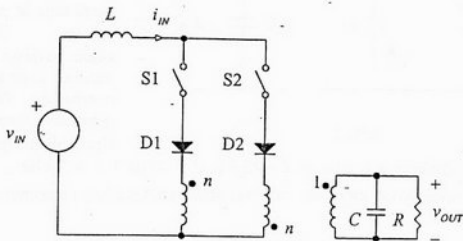
- Odrediti  $n_3$  tako da u kontinualnom režimu rada prekidač u jednoj periodi bude uključen  $0.4/f_s$ .
- Nacrtati vremenske dijagrame struja i napona označenih na slici 3 za  $R = 1 \Omega$ .
- Odrediti opseg  $R$  za koji konverter radi u kontinualnom režimu.
- Odrediti minimalnu vrednost  $V_{IN}$  za koju dati konverter sa  $n_3$  izračunato pod a) može da obezbedi  $V_{OUT} = 5 \text{ V}$ .
- Prilikom izlaznoj struji  $I_{OUT} = 5 \text{ A}$  odrediti koeficijent korisnog dejstva.



Slika 3.

4. Na slici 4 je prikazan strujni inverter. Prekidač S1 je uključen tokom  $dT_s$ , a prekidač S2 je uključen tokom  $d'T_s$ . Poznato je:  $v_{IN} = 300 \text{ V}$ ,  $n = 2$ ,  $d = \frac{1}{2}(1 + m \sin(\omega t))$ ,  $-1 < m < 1$ ,  $\omega = 100\pi \text{ rad/s}$ ,  $R = 35.35 \Omega$ ,  $C = 90.03 \mu\text{F}$ ,  $L$  je dovoljno veliko da se talasnost  $i_{IN}$  može zanemariti.

- Za  $m = 0.75$  odrediti srednju vrednost  $v_{OUT}$  na nivou periode prekidanja  $T_s$ . Nacrtati i označiti vremenski dijagram.
- Odrediti zavisnost  $i_{IN}$  od  $m$ .

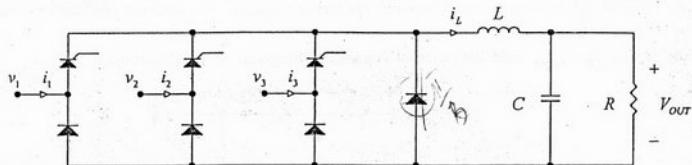


Slika 4.

1. Trofazni polukontrolisani most sa slike 1 je povezan na trofazni sistem napona

$v_k = V_m \cos(\omega t - (k-1)120^\circ)$ , gde je  $k \in \{1, 2, 3\}$  i  $V_m = 220\sqrt{2}$  V. Fazni ugao uključena tiristora  $\alpha$  se meri u odnosu na uzlazni prolazak kroz nulu odgovarajućeg faznog napona. Smatrati  $30^\circ < \alpha < 150^\circ$ . Potrošač ima otpornost  $R = 100 \Omega$ , a LC filter se može smatrati idealnim, tako da se može smatrati da ulazna struja filtra  $i_L$  i izlazni napon imaju samo jednosmernu komponentu.

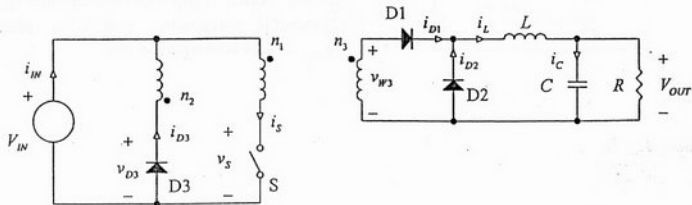
- Određiti zavisnost  $V_{OUT}$  od  $\alpha$ .
- Određiti zavisnost faktora snage od  $\alpha$ .
- Određiti zavisnost jednosmerne komponente ulazne struje od  $\alpha$ .
- Nacrtati vremenski dijagram ulazne struje  $i_L$  za  $\alpha = 30^\circ$  i označiti karakteristične tačke.



slika 1

2. Na slici 2 je prikazan forward konvertor kod koga je  $n_1 = n_2 = 46$ ,  $L = 18 \mu\text{H}$ ,  $C = 220 \mu\text{F}$ ,  $f_s = 100 \text{ kHz}$ . 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,  $V_S = 1 \text{ V}$ . Uticaj magnetizacione induktivnosti transformatora se može zanemariti.

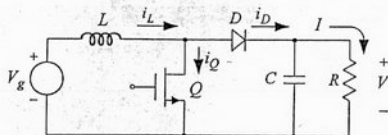
- Određiti  $n_3$  tako da u kontinualnom režimu rada prekidač u jednoj periodi bude uključen  $0.4/f_s$ .
- Nacrtati vremenske dijagrame struja i napona označenih na slici 2 za  $R = 1 \Omega$ .
- Određiti opseg  $R$  za koji konvertor radi u kontinualnom režimu.
- Određiti minimalnu vrednost  $V_{IN}$  za koju dati konvertor sa  $n_3$  sračunato pod a) može da obezbedi  $V_{OUT} = 5 \text{ V}$ .
- Ako je maksimalna predviđena izlazna struja  $I_{OUTmax} = 5 \text{ A}$ , odrediti zavisnost koeficijenta korisnog dejstva od  $I_{OUT}$  i maksimalnu vrednost koeficijenta korisnog dejstva. Razmatrati samo kontinualni režim rada.
- Određiti prenosnu funkciju  $H(s) = \hat{v}_{OUT}(s)/\hat{d}(s)$ .



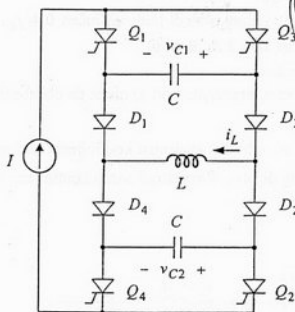
slika 2

3. Boost konvertor sa slike 3 napaja se iz baterije  $V_g = 1,2V \pm 0,2V$ , radi sa konstantnim vremenom uključenosti prekidača  $Q$ ,  $t_{on} = 10\mu s$ , dok se promenom vremena isključenosti  $t_{off}$ , odnosno prekidačke učestanosti  $f_s$ , pri promeni potrošnje u granicama  $100\mu A \leq I \leq 0,2A$  izlazni napon reguliše na vrednost  $V = 3V$ .

- [2] Odrediti  $M(D) = V/V_g$ , kao i uslov koji definiše rad u diskontinualnom režimu.
- [3] Odrediti vrednost induktivnosti  $L$  i kapacitivnosti  $C$  tako da:
  - talasnost izlaznog napona ne bude veća od  $\Delta V_{p-p} = 50mV$
  - konvertor radi u diskontinualnom režimu
  - vršna vrednost struje induktivnosti bude što manja.
- [3] Pod uslovima iz tačke b) odrediti minimalnu i maksimalnu vrednost prekidačke učestanosti  $f_{smin}$  i  $f_{smax}$ .
- [2] Za  $f_s = f_{smin}$  odrediti i nacrtati vremenske dijagrame obeleženih struja.



Slika 3



4. Na slici 4 prikazan je monofazni tiristorski inverter za napajanje induktivnog potrošača. Tiristori se uključuju signalima sa gejtova, provode alternativno u parovima  $Q_1, Q_2$  i  $Q_3, Q_4$ , a sve upotrebjene komponente su idealne.

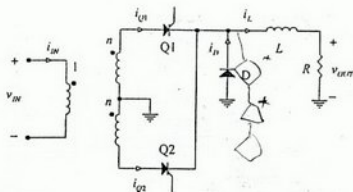
a) [6] Izračunati i nacrtati vremenske dijagrame obeleženih napona i struja u toku prelaznog režima promene polariteta struje kroz potrošač. Smatrati da je u početnom trenutku posmatranja napon na kondenzatorima  $v_{C1}(0) = v_{C2}(0) = V_0 > 0$ .

b) [2] Odrediti raspoloživo vreme  $t_q$  za komutaciju tiristora i početni napon na kondenzatorima  $V_0$ .

c) [2] Odrediti maksimalnu prekidačku učestanost  $f_{smax}$  za koju kolo ispravno radi.

1. U ispravljaču sa slike 1 poznato je  $v_{IN} = 220\sqrt{2} \text{ V sin}(2\pi 50 \text{ Hz } t)$ ,  $n = 1/2$ ,  $L = 10 \text{ H}$ ,  $R = 5 \Omega$ , tiristor Q1 se uključuje fazni ugao  $\alpha = 2\pi 50 \text{ Hz } t_0$  nakon uzlaznog prolaska ulaznog napona kroz nulu, tiristor Q2 se uključuje za isti fazni ugao nakon silaznog prolaska ulaznog napona kroz nulu, dioda i tiristori se mogu smatrati idealnim.

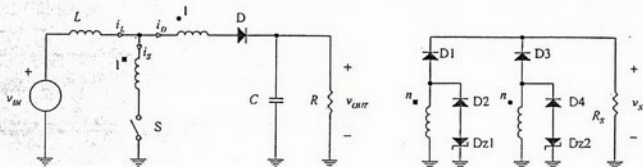
- Za  $\alpha = 90^\circ$  odrediti vremenske dijagrame  $i_{IN}$ ,  $i_{Q1}$ ,  $i_{Q2}$ ,  $i_D$  i  $i_L$ , izračunati i označiti karakteristične tačke.
- Odrediti zavisnost izlaznog napona od ugla uključjenja tiristora.
- Odrediti zavisnost faktora snage od ugla uključjenja tiristora.
- Pri uglu uključjenja tiristora od  $\alpha = 0$  proceniti amplitudu naizmjenične komponente izlaznog napona.
- Odrediti prenosnu funkciju  $H(s) = \hat{v}_{OUT}(s)/\hat{\alpha}(s)$  u okolini  $\alpha = 45^\circ$ .



Slika 1.

2. Na slici 2 je prikazan boost konvertor kod koga je primenjena tehnika strujnog programiranja ograničavanjem maksimalne i minimalne vrednosti struje kalema. Ako se drugačije ne naglasi smatrati da je  $v_{IN} = 100 \text{ V}$ ,  $i_{Lmax} = 2.2 \text{ A}$ ,  $i_{Lmin} = 1.8 \text{ A}$ ,  $R = 200 \Omega$ , dioda i prekidač u energetskom delu kola se mogu smatrati idealnim. Poznato je  $C = 10000 \mu\text{F}$ ,  $L = 2.5 \text{ mH}$ . Pad napona na direktno polarisanim diodama u kolu za merenje struje je  $V_D = 0.7 \text{ V}$ , probojni napon zener dioda je  $V_Z = 10 \text{ V}$ , prenosni odnos transformatora je  $n = 1000$ , magnetizacionu induktivnost transformatora smatrati za jako veliku,  $R_S = 1 \text{ k}\Omega$ .

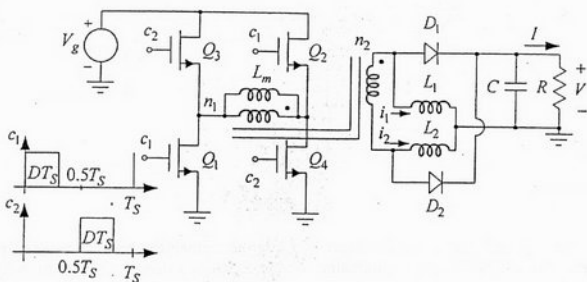
- Odrediti vremenske dijagrame  $i_L$ ,  $i_S$  i  $i_D$  u ustaljenom stanju.
- Odrediti zavisnost izlaznog napona od ulaznog napona i otpornosti potrošača.
- Odrediti vremenske dijagrame struja dioda D1, D2, D3 i D4.
- Ako se ulazni napon promeni sa  $100 \text{ V}$  na  $105 \text{ V}$ , a  $i_{Lmin}$  i  $i_{Lmax}$  održavaju konstantnim, odrediti vremenski dijagram izlaznog napona tokom prelaznog procesa.



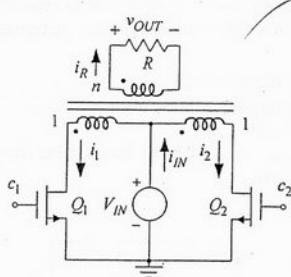
Slika 2.

3. FULL-BRIDGE konvertor sa slike 3 radi sa konstantnom učestanošću prekidanja  $f_S = 100 \text{ kHz}$ , ima ulazni napon koji se menja u granicama  $40 \text{ V} \leq V_g \leq 60 \text{ V}$ , dok je  $V = 5 \text{ V}$ ,  $5 \text{ A} \leq I \leq 50 \text{ A}$ ,  $L_m \rightarrow \infty$ ,  $V_D = 0,5 \text{ V}$  i  $L_1 = L_2 = L$ .

- a) [1] Odrediti maksimalnu vrednost odnosa impuls-perioda  $D_{\max}$  za koju konvertor ispravno radi.  
 b) [5] Odrediti prenosni odnos transformatora  $n = n_1/n_2$ , minimalnu vrednost induktivnosti  $L$  i kapacitivnosti  $C$ , tako da konvertor uvek radi sa kontinualnom strujom induktivnosti i da je talasnost napona na potrošaču  $\Delta v_{p-p} \leq 1\% V$ .  
 c) [2] Za  $V_g = 60 \text{ V}$  i  $I = 50 \text{ A}$  nacrtati vremenske oblike struja prekidača i dioda, struja i napona na kalemovima i napona na prekidačima i diodama.  
 d) [2] Odrediti maksimalne inverzne napone na diodama i prekidačkim tranzistorima, maksimalnu srednju struju dioda i efektivnu vrednost struje prekidačkih tranzistora.



Slika 3



Slika 4

4. PUSH-PULL inverter sa slike 4 se napaja iz baterije  $10 \text{ V} \leq V_{IN} \leq 16 \text{ V}$  i obezbeđuje napajanje potrošaču  $R = 100 \Omega$  u odsustvu mrežnog napona. Smatrati da je magnetizaciona induktivnost transformatora  $L_m \rightarrow \infty$ .

a) [3] Ako su pobudni impulsi sa faktorom ispunje  $D \approx 0,5$ , odrediti minimalnu vrednost prenosnog odnosa transformatora  $n$  i vremenske dijagrame stanja prekidača tako da se potrošaču ne predaje manja korisna snaga nego u slučaju mrežnog napona  $v = 220\sqrt{2} \cdot \sin(2\pi ft)$ ,  $f = 50 \text{ Hz}$ .

b) [2] Ako je  $V_{IN} = 16 \text{ V}$ , nacrtati vremenske dijagrame struja i napona označenih na slici 4, kao i napona na prekidačima.

c) [1] Odrediti maksimalni stres na prekidačima

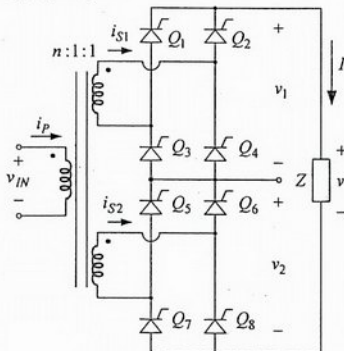
$$S = V_{Qpk} I_{Qrms}$$

d) [3] Kako treba upravljati prekidačima  $Q_1$  i  $Q_2$  tako da u izlaznom naponu ne postoji treći harmonik? Nacrtati vremenske dijagrame pobudnih impulsa  $c_1$  i  $c_2$  za ovaj slučaj.

e) [1] Za slučaj iz tačke d) odrediti maksimalnu korisnu snagu koja se predaje potrošaču.

1. Na slici 1 je prikazan monofazni serijski tiristorski ispravljač. Tiristorima  $Q_1, Q_2, Q_3, Q_4$  nezavisno se upravlja od tiristora  $Q_5, Q_6, Q_7, Q_8$ . Tiristori  $Q_1, Q_4$ , odnosno  $Q_5, Q_8$  i  $Q_2, Q_3$ , odnosno  $Q_6, Q_7$ , se uključuju sa međusobnim faznim pomerajem od  $180^\circ$ . Ugao uključivanja  $\alpha_1$ , odnosno  $\alpha_2$ , meri se od uzlaznog prolaska faznog napona kroz nulu do uključivanja tiristora  $Q_2, Q_3$ , odnosno  $Q_6, Q_7$ . Poznato je:  $v_{IN} = 220\sqrt{2}V \cdot \sin(2\pi ft)$ ,  $f = 50\text{Hz}$ ,  $n = 2$ ,  $I = 10\text{A}$ ,  $\alpha_1 = \pi/2$  i  $\alpha_2 = \pi$ .

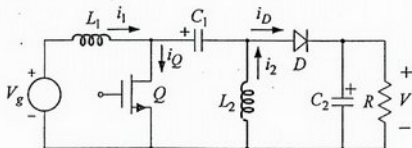
- [5] Odrediti i nacrtati vremenske dijagrame označenih struja, struja svih tiristora i označenih napona.
- [2,5] Odredit srednju i efektivnu vrednost izlaznog napona.
- [2,5] Odrediti faktor snage ispravljača.



Slika 1

2. U SEPIC konvertoru sa slike 2 prekidači su idealnih karakteristika, dok je:  $V_g = 120\text{V}$ ,  $D = 0,225$ ,  $f_s = 100\text{kHz}$ ,  $R = 10\Omega$ ,  $L_1 = 50\mu\text{H}$ ,  $L_2 = 75\mu\text{H}$ ,  $C_1 = 47\mu\text{F}$ , i  $C_2 = 200\mu\text{F}$ .

- [4] Odrediti napon na potrošaču,  $V$ , a zatim nacrtati vremenske dijagrame obeleženih struja i napona na induktivnostima i prekidačima.
- [2] Odrediti talasnost napona na potrošaču,  $\Delta v_{p-p}$ .
- [4] Ponoviti tačku a) ako je  $R = 20\Omega$ .

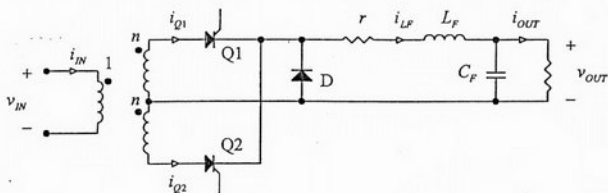


Slika 2

Ispit traje 4 sata, nije dozvoljeno korišćenje literature.

1. Na slici 1 je prikazan ispravljač kod koga je ulazni napon oblika  $v_{IN} = V_m \sin(\omega t)$ , gde je nominalna vrednost amplitude  $V_{m\text{nom}} = 220\sqrt{2}$  V, a kreće se u granicama od -20 % do +10 % nominalne vrednosti. Izlazna struja se kreće u granicama  $0 < i_{OUT} < 100$  A. Induktivnost kalema  $L_F$  je dovoljna da se talasnost njegove struje može zanemariti. Gubitke u kalemu modeluje otpornik  $r = 0.12 \Omega$ . Nominalna vrednost izlaznog napona je  $V_{OUT} = 48$  V. Ostali elementi se mogu smatrati idealnim.

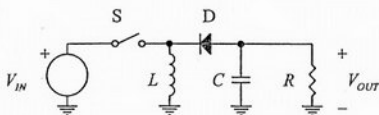
- Odeđiti minimalnu vrednost prenosnog odnosa transformatora  $n$  tako da ispravljač može da zadovolji date specifikacije.
- Za  $n$  određeno pod a) odrediti opseg u kome će se kretati ugao paljenja tiristora.
- Za nominalnu vrednost amplitude ulaznog napona i  $i_{OUT} = 40$  A nacrtati vremenske dijagrame struja označenih na slici 1 i označiti karakteristične tačke.
- Za slučaj pod c) izračunati faktor snage ispravljača.



Slika 1.

2. Na slici 2 je prikazan buck-boost konvertor kod koga se upravljanje vrši tehnikom programiranja struje tako što se prekidač isključuje kada struja kalema dostigne vrednost upravljačke promenljive  $i_{L\text{max}}$ , a ponovo se uključuje kada dioda prestane da provodi. Na taj način konvertor stalno radi na granici između kontinualnog i diskontinualnog režima rada. Poznato je:  $V_{IN} = 5$  V,  $V_{OUT} = -15$  V, maksimalna izlazna struja iznosi  $i_{OUT\text{max}} = 0.5$  A.

- Određiti  $L$  tako da pri maksimalnoj struji frekvencija uključivanja prekidača bude  $f_s = 25$  kHz i odrediti  $i_{L\text{max}}$  u ovom slučaju.
- Određiti zavisnost frekvencije prekidanja  $f_s$  od izlazne struje  $i_{OUT}$ .
- Ako talasnošću izlaznog napona dominira komponenta nastala usled parazitne ekvivalentne serijske otpornosti kondenzatora  $R_{ESR}$ , odrediti maksimalnu vrednost  $R_{ESR}$  tako da razlika između minimalne i maksimalne vrednosti izlaznog napona (peak-to-peak ripple) ne bude veća od 50 mV.



Slika 2.

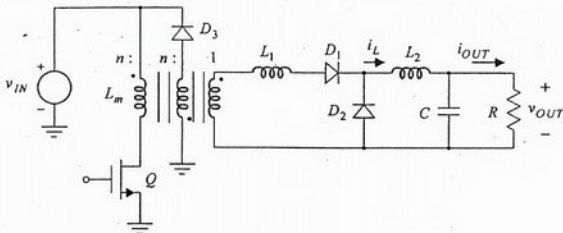
3. U Forward konvertoru sa slike 3, koji radi sa konstantnom učestanošću prekidanja,  $f_S = 50\text{kHz}$ , upotrebjene su komponente idealizovanih karakteristika, a poznato je:  $v_{IN} = 48\text{V}$ ,  $n = 4$ ,  $L_2 = 100\mu\text{H}$ ,  $R = 0,12\Omega$ ,  $C \rightarrow \infty$ .

a) Ako je  $L_1 = 0\text{H}$  odrediti opseg vrednosti izlaznog napona, koji se može dobiti promenom odnosa impuls-perioda,  $D$ .

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

b) odrediti maksimalnu vrednost napona na izlazu  $v_{OUT\max}$  i

c) nacrtati vremenske dijagrame, u ustaljenom stanju u toku jedne periode prekidanja, napona i struja svih prekidača i induktivnosti.



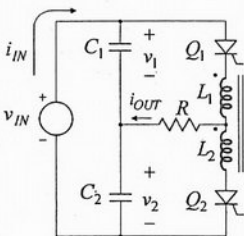
Slika 3

4. Pobudne struje za tiristore u serijskom rezonantnom invertoru sa slike 4.a. prikazane su na slici 4.b. U početnom trenutku je  $v_2(0) = -V_2$ ,  $V_2 > 0$  i  $i_{OUT}(0) = 0$ , a poznato je:  $v_{IN} = 220\text{V}$ ,  $C_1 = C_2 = C = 3\mu\text{F}$ ,  $L_1 = L_2 = L = 50\mu\text{H}$ ,  $R = 2\Omega$  i  $f_0 = 1/T_0 = 7\text{kHz}$ .

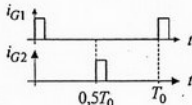
a) Odrediti i nacrtati vremenske dijagrame označenih napona i struja u toku jedne periode  $T_0$ .

b) Kolika je amplituda ulazne struje  $I_{INm}$ ?

c) Odrediti maksimalnu učestanost rada invertora  $f_{0\max}$  ako je vreme isključivanja tiristora  $t_{\text{off}} = 10\mu\text{s}$ .



Slika 4.a



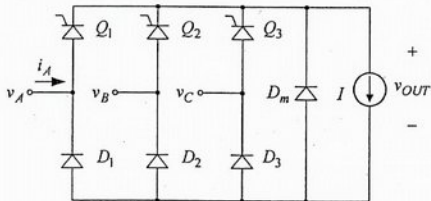
Slika 4.b

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

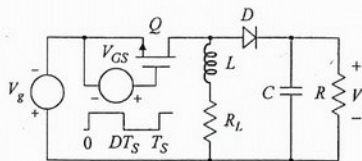
Tiristori  $Q_1$ ,  $Q_2$  i  $Q_3$  uključuju se pri  $\theta_1 = \frac{\pi}{6} + \alpha$ ,  $\theta_2 = \frac{5\pi}{6} + \alpha$  i  $\theta_3 = \frac{3\pi}{2} + \alpha$ ,  $\theta = \omega t$ ,  $0 \leq \alpha \leq \frac{\pi}{2}$ , respektivno.

Za slučaj kada je  $\alpha = \frac{\pi}{3}$ :

- odrediti i nacrtati vremenske dijagrame, u ustaljenom stanju u toku jedne periode mrežnog napona, struja svih dioda i tiristora i napona na izlazu,  $v_{OUT}$ ;
- odrediti srednju i efektivnu vrednost napona na potrošaču i
- odrediti faktor snage ispravljača.



Slika 1



Slika 2

2. Buck-Boost konvertor sa slike 2 radi u kontinualnom režimu rada sa konstantnom učestanošću prekidanja  $f_S = 50\text{kHz}$ , dok je  $V_g = 1,5\text{V}$ ,  $V = 5\text{V}$  i  $R = 5\Omega$ . Pad napona na provodnoj diodi je  $V_D = 0,5\text{V}$ , otpornost prekidača kada provodi je  $R_{ON} = 35\text{m}\Omega$ , a otpornost kalema je  $R_L$ . Smatrati da su talasnosti struje induktivnosti i napona na kondenzatoru zanemarljive.

- Odrediti izraz koji definiše efikasnost konvertora  $\eta = \eta(D, V_g, V_D, R_{ON}, R_L, R)$ .
- Odrediti maksimalnu otpornost kalema  $R_{L,max}$  tako da je efikasnost konvertora  $\eta \geq 70\%$ . Koliko iznosi  $D$ ?
- Pod uslovom iz tačke b) odrediti gubitke na prekidaču  $P_{ON}$ , diodi  $P_D$  i induktivnosti  $P_L$ .
- Pod uslovom iz tačke b), odrediti efikasnost konvertora ako je  $R = 10\Omega$ .

1. U kolu sa slike 1 tiristori Q1 i Q2 se uključuju simetrično, tiristor Q1 za fazni ugao  $\alpha = \omega_0 t$ , nakon ulaznog prolaska kroz nulu ulaznog napona, a tiristor Q2 za isti fazni ugao nakon silaznog prolaska kroz nulu ulaznog napona. Ulazni napon je oblika  $v_{IN}(t) = V_m \sin(\omega_0 t)$ , a prenosni odnos transformatora je  $n:1$ .

a) Smatrajući da je induktivnost  $L$  dovoljno velika da se njena struja može smatrati konstantnom,  $i_L(t) = I$ , nacrtati vremenske dijagrame struja i napona označenih na slici 1 tokom jedne periode ulaznog napona i označiti karakteristične vrednosti.

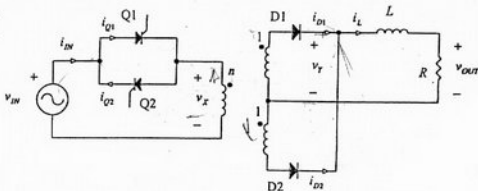
b) Pod pretpostavkom kao pod a) odrediti zavisnost jednosmerne komponente izlaznog napona od ugla  $\alpha$ ,  $V_{OUT}(\alpha)$ .

c) Ako je  $\tau = \frac{L}{R} \gg \frac{1}{f_0}$ , gde  $f_0 = \frac{\omega_0}{2\pi}$ , odrediti zavisnost srednje vrednosti izlaznog napona tokom

poluperiode ulaznog napona pri promeni ugla paljenja tiristora sa  $\alpha = 0$  na  $\alpha = 45^\circ$ .

d) Za ulaznu struju odrediti  $THD(\alpha = 0)$ .

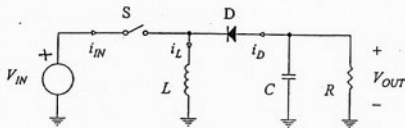
e) Odrediti  $PF(\alpha = 90^\circ)$ .



Slika 1.

2. Na slici 2 je prikazan buck-boost konvertor kod koga je  $D = 0.5$  (ne menja se),  $L = 100 \mu\text{H}$ ,  $V_{IN} = 100 \text{ V}$  ako se drugačije ne naglasi, dioda i prekidač su idealni, kondenzator je dovoljno velike kapacitivnosti da se talasnost njegovog napona može zanemariti, učestanost prekidanja je  $f_s = 100 \text{ kHz}$ , potrošač  $R$  je promenljiv.

- a) Odrediti opseg izlaznog napona za koji konvertor radi u diskontinualnom režimu.  $V_{OUT} < -100 \text{ V}$   
 b) Odrediti opseg otpornosti potrošača za koji konvertor radi u diskontinualnom režimu.  $R > 80 \Omega$   
 c) Odrediti ulaznu snagu.  
 d) Odrediti zavisnost izlaznog napona od ulaznog napona i otpornosti potrošača u diskontinualnom režimu.



slika 2

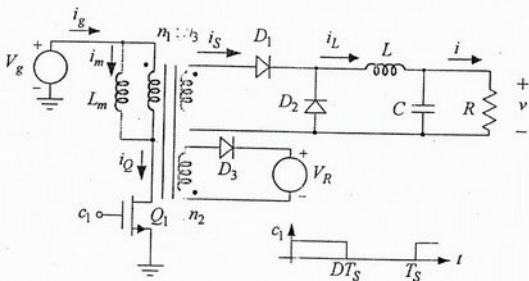
3. Na slici 3 je prikazan Forward konvertor koji radi u kontinualnom režimu, sa konstantnom učestanošću prekidanja  $f_S = 100\text{kHz}$ . U kolu su upotrebljeni idealni prekidači i diode, a poznato je:  $L_m = 30\text{mH}$ ,  $127\text{V} \leq V_g \leq 380\text{V}$ ,  $V = 12\text{V}$ ,  $P_{OUT} = 480\text{W}$ . Smatrati da se talasnost struje  $i_L$  može zanemariti.

a) [1] Odrediti, uz obrazloženje, minimalnu vrednost napona  $V_R$  u funkciji parametara kola za koju konvertor ispravno radi.

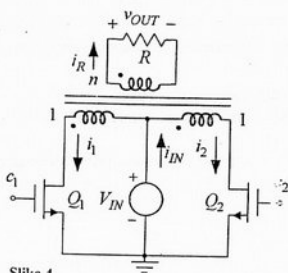
b) [4] Sa  $V_R$  iz tačke a) odrediti prenosni odnos transformatora  $n_1/n_3$  tako da se dobije minimalni stres na prekidaču  $S = V_{Qpk} I_{Qrms}$ .

c) [3] Ako je  $V_R = 12\text{V}$ , pod uslovom: iz prethodne tačke odrediti prenosni odnos  $n_1/n_2$ , a zatim nacrtati vremenske dijagrame obeleženih struja pri  $V_g = 127\text{V}$ .

d) [2] Odrediti odnos stresova na aktivnom prekidaču u slučaju iz tačke b) i u slučaju kada je  $n_2 = n_1$  i  $V_R = V_g$ .



Slika 3



Slika 4

4. Push-pull inverter sa slike 4 se napaja iz baterije  $V_{IN} = 24\text{V}$  i obezbeđuje napajanje potrošaču  $R = 200\Omega$  u odsustvu mrežnog napona. Smatrati da je magnetizaciona induktivnost transformatora merena sa sekundarne strane  $L_m \rightarrow \infty$ .

a) [3] Ako su pobudni impulsi sa faktorom ispunje  $D \approx 0.5$ , odrediti prenosni odnos transformatora  $n$  i vremenske dijagrame stanja prekidača tako da se potrošaču predaje ista korisna snaga kao u slučaju mrežnog napona  $v = 220\sqrt{2}\text{V}\sin(2\pi ft)$ ,  $f = 50\text{Hz}$ .

b) [2] Nacrtati vremenske dijagrame označenih struja i napona na prekidačima.

c) [3] Kako treba upravljati prekidačima  $Q_1$  i  $Q_2$  tako

da u izlaznom naponu ne postoji treći harmonik? Nacrtati vremenske dijagrame pobudnih impulsa  $c_1$  i  $c_2$  za ovaj slučaj.

Pod uslovom iz tačke c) odrediti:

d) [1] korisnu snagu koja se predaje potrošaču.

e) [1] maksimalni stres na prekidačima  $S = V_{Qpk} I_{Qrms}$ .

1. U kolu sa slike 1 tiristori Q1 i Q2 se uključuju simetrično, tiristor Q1 za fazni ugao  $\alpha = \omega_0 t_a$  nakon ulaznog prolaska kroz nulu ulaznog napona, a tiristor Q2 za isti fazni ugao nakon silaznog prolaska kroz nulu ulaznog napona. Ulazni napon je oblika  $v_{IN}(t) = V_m \sin(\omega_0 t)$ , a prenosni odnos transformatora je  $n:1:1$ .

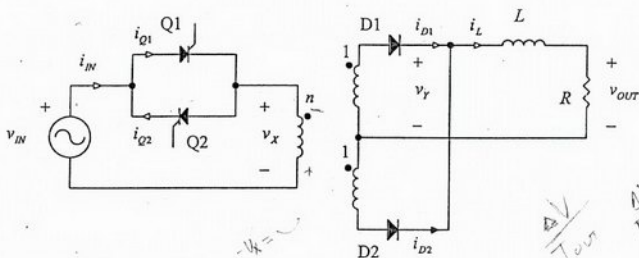
a) [3] Smatrajući da je induktivnost  $L$  dovoljno velika da se njena struja može smatrati konstantnom,  $i_L(t) = I$ , nacrtati vremenske dijagrame struja i napona označenih na slici 1 i tokom jedne periode ulaznog napona i označiti karakteristične vrednosti.

b) [1] Pod pretpostavkom kao pod a), odrediti zavisnost jednosmerne komponente izlaznog napona od ugla  $\alpha$ ,  $V_{OUT}(\alpha)$ .

c) [3] Ako je  $r = \frac{L}{R} \gg \frac{1}{f_0}$ , gde  $f_0 = \frac{\omega_0}{2\pi}$ , odrediti zavisnost srednje vrednosti izlaznog napona tokom poluperiode ulaznog napona pri promeni ugla uključivanja tiristora sa  $\alpha = 0$  na  $\alpha = 45^\circ$ .

d) [2] Za ulaznu struju odrediti  $THD(\alpha = 0)$ .

e) [1] Odrediti  $PF(\alpha = 90^\circ)$ .



Slika 1.

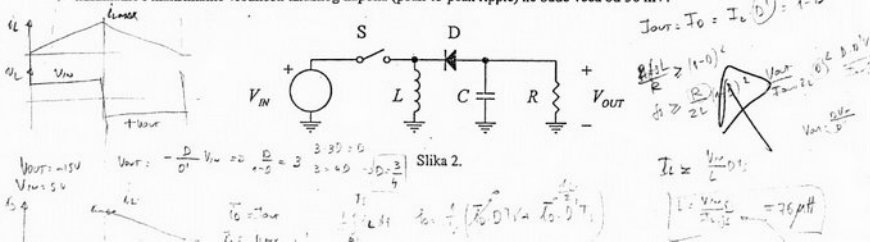
2. Na slici 2 je prikazan buck-boost konvertor kod koga se upravljanje vrši tehnikom programiranja struje tako što se prekidač isključuje kada struja kalemna dostigne vrednost upravljačke promenljive  $i_{Lmax}$ , a ponovo se uključuje kada dioda prestane da provodi. Na taj način konvertor stalno radi na granici između kontinualnog i diskontinualnog režima. Poznato je:  $V_{IN} = 5V$ ,  $V_{OUT} = -15V$ , maksimalna izlazna struja iznosi  $i_{OUTmax} = 0.5A$ .

a) [3] Odrediti  $L$  tako da pri maksimalnoj struji frekvencija uključivanja prekidača bude  $f_s = 25kHz$  i odrediti  $i_{Lmax}$  u ovom slučaju.

b) [2] Odrediti zavisnost frekvencije prekidanja  $f_s$  od izlazne struje  $i_{OUT}$ .

c) [2] Ako talasnošću izlaznog napona dominira komponenta nastala usled parazitarne ekvivalentne serijske otpornosti kondenzatora  $R_{ESR}$ , odrediti maksimalnu vrednost  $R_{ESR}$  tako da razlika između minimalne i maksimalne vrednosti izlaznog napona (peak-to-peak ripple) ne bude veća od 50 mV.

d) [3] Ako talasnošću izlaznog napona dominira komponenta nastala usled konačne kapacitivnosti kondenzatora ( $R_{ESR}$  se može zanemariti u ovom slučaju), odrediti minimalnu vrednost kapacitivnosti kondenzatora  $C$  tako da razlika između minimalne i maksimalne vrednosti izlaznog napona (peak-to-peak ripple) ne bude veća od 50 mV.



Slika 2.

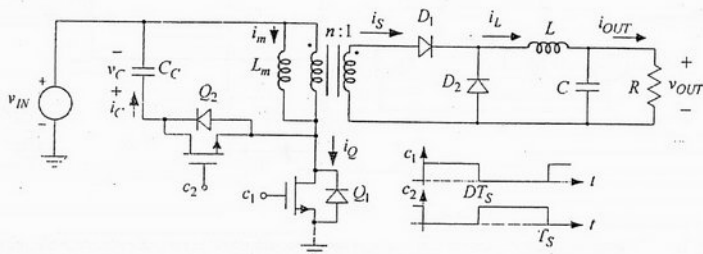
3. Forward konvertor sa slike 3 radi sa konstantnom učestanošću prekidanja  $f_S = 100\text{kHz}$ , ima ulazni napon koji se menja u granicama,  $100\text{V} \leq V_{IN} \leq 400\text{V}$ , dok je  $v_{OUT} = 5\text{V}$ ,  $2\text{A} \leq I_{OUT} \leq 20\text{A}$ .  $n = 10$ ,  $L_m = 20\text{mH}$ ,  $V_{D1} = V_{D2} = V_D = 0.5\text{V}$ , a prekidači  $Q_1$  i  $Q_2$  se uključuju signalima kao što je prikazano na slici.

a) [4] Za  $v_{IN} = 100\text{V}$  i  $I_{OUT} = 20\text{A}$  odrediti i nacrtati vremenske dijagrame obeleženih struja i napona, kao i napona na prekidačima. Smatrati da je talasnost struje induktivnosti  $i_L$  i napona na kondenzatorima zanemarljiva.

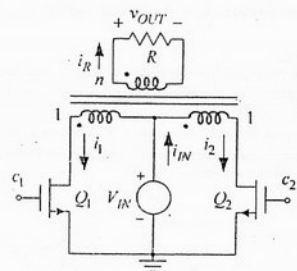
b) [4] Odrediti minimalne vrednosti induktivnosti  $L$  i kapacitivnosti  $C_C$  i  $C$  tako da konvertor uvek radi u kontinualnom režimu i da talasnost napona na kondenzatorima bude  $\Delta v_{Cp-p} \leq 10\%V_C$  i  $\Delta v_{OUTp-p} < 1\%V_{OUT}$ .

c) [1] Za  $I_{OUT} = 20\text{A}$ , odrediti zavisnost koeficijenta korisnog dejstva od ulaznog napona,  $\eta = \eta(V_{IN})$ .

d) [1] Za  $v_{IN} = 100\text{V}$ , odrediti zavisnost koeficijenta korisnog dejstva od struje potrošača,  $\eta = \eta(I_{OUT})$ .



Slika 3



Slika 4

4. Push-pull inverter sa slike 4 se napaja iz baterije  $V_{IN} = 12\text{V}$  i obezbeđuje napajanje potrošaču  $R = 200\Omega$  u odsustvu mrežnog napona. Smatrati da je magnetizaciona induktivnost transformatora  $L_m \rightarrow \infty$ .

a) [3] Ako su pobudni impulsi sa faktorom ispunje  $D \approx 0.5$ , odrediti prenosni odnos transformatora  $n$  i vremenske dijagrame stanja prekidača tako da se potrošaču predaje ista korisna snaga kao u slučaju mrežnog napona  $v = 220\sqrt{2}V\sin(2\pi ft)$ ,  $f = 50\text{Hz}$ .

b) [2] Nacrtati vremenske dijagrame struja i napona označenih na slici 4.

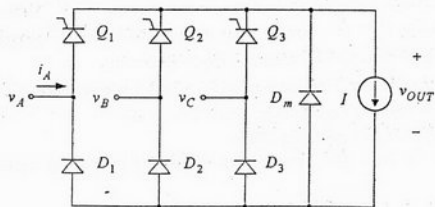
c) [1] Odrediti maksimalni stres na prekidačima  $S = V_{Qpk} I_{Qrms}$ .

d) [3] Kako treba upravljati prekidačima  $Q_1$  i  $Q_2$  tako

da u izlaznom naponu ne postoji treći harmonik? Nacrtati vremenske dijagrame pobudnih impulsa  $c_1$  i  $c_2$  za ovaj slučaj.

e) [1] Za slučaj iz tačke d) odrediti korisnu snagu koja se predaje potrošaču.

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



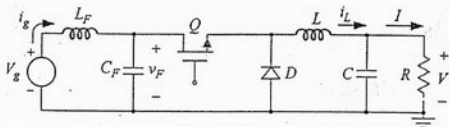
Slika 1

$$v_C = V_m \sin(\omega t + \frac{2\pi}{3}).$$

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

Za slučaj kada je  $\alpha = \frac{\pi}{4}$ :

- a) [5] odrediti i nacrtati vremenske dijagrame, u ustaljenom stanju u toku jedne periode mrežnog napona, struja svih dioda i tristora i napona na izlazu,  $v_{OUT}$ ;
- b) [3] odrediti srednju,  $\bar{v}_{OUT}$ , i efektivnu,  $V_{out}$ , vrednost napona na potrošaču;
- c) [2] odrediti faktor snage ispravljača.



Slika 2

2. Buck konvertor sa slike 2 radi u kontinualnom režimu rada sa konstantnom učestanošću prekidanja  $f_S = 50\text{kHz}$ , dok je  $V_g = 40\text{V}$ ,  $V = 20\text{V}$  i  $R \geq 4\Omega$ . Pad napona na diodi je  $V_D = 0.8\text{V}$ , dok su ostale komponente idealne.

- a) [4] odrediti minimalne vrednosti induktivnosti  $L_F, L$  i kapacitivnosti  $C_F, C$  tako da je:

- talasnost ulazne struje  $\Delta i_{gp-p} \leq 5\% I_g$ ;
- talasnost struje induktivnosti  $\Delta i_{lp-p} \leq 20\% I_L$
- talasnost napona na kondenzatoru  $C_F$ ,  $\Delta v_{CFp-p} \leq 5\% V_F$  i
- talasnost napona na potrošaču  $\Delta v_{p-p} \leq 1\% V$ .

Pri proračunima koristiti opravdane aproksimacije.

- b) [2] Ako je maksimalna indukcija u jezgru,  $B_{max} = 0.25\text{T}$ , faktor ispunе,  $K_u = 0.5$ , maksimalna gustina struje u bakarnim provodnicima,  $J_{max} = 150\text{A}/\text{cm}^2$  i specifična otpornost bakra  $\rho_{cu} = 1.724 \cdot 10^{-6} \Omega\text{-cm}$ , izabrati feritno jezgro minimalnih gabarita za projektovanje induktivnosti  $L$ . Na raspolaganju su feritna jezgra data u sledećoj tabeli, gde je  $A_C$ -površina poprečnog preseka jezgra,  $W_A$ -površina poprečnog preseka prostora za namotaje i  $MLT$ -srednja dužina zavojka.

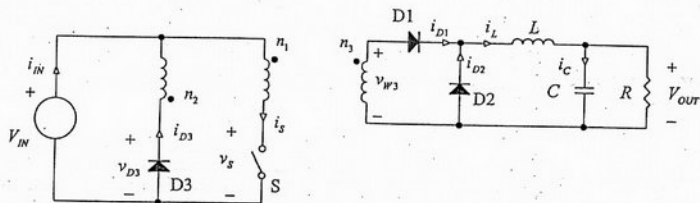
Za izabrano jezgro odrediti:

- c) [2] broj zavojaka  $N$  i dužinu vazdušnog procepa  $l_g$ ;
- d) [2] prečnik bakarne žice i snagu gubitaka u induktivnosti. Na raspolaganju su žice čiji je prečnik  $\phi[\text{mm}] = \{1.4, 1.7, 2.0, 2.1, 2.2\}$

jezgro	$A_C[\text{cm}^2]$	$W_A[\text{cm}^2]$	$MLT[\text{cm}]$
EE40	1.27	1.10	8.50
EE50	2.26	1.78	10.0
EE60	2.47	2.89	12.8

3. Na slici 3 je prikazan forward konvertor kod koga je  $n_1 = n_2 = 46$ ,  $L = 18 \mu\text{H}$ ,  $C = 220 \mu\text{F}$ ,  $f_s = 100 \text{ kHz}$ . 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,  $V_S = 1 \text{ V}$ . Uticaj magnetizacione induktivnosti transformatora se može zanemariti.

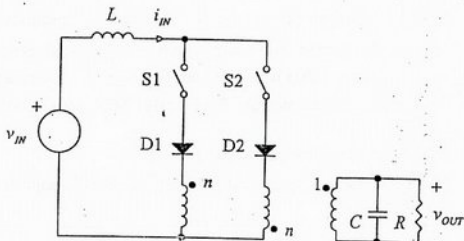
- Odrediti  $n_3$  tako da u kontinualnom režimu rada prekidač u jednoj periodi bude uključen  $0.4/f_s$ .
- Nacrtati vremenske dijagrame struja i napona označenih na slici 3 za  $R = 1 \Omega$ .
- Odrediti opseg  $R$  za koji konvertor radi u kontinualnom režimu.
- Odrediti minimalnu vrednost  $V_{IN}$  za koju dati konvertor sa  $n_3$  izračunato pod a) može da obezbedi  $V_{OUT} = 5 \text{ V}$ .
- Pri izlaznoj struji  $I_{OUT} = 5 \text{ A}$  odrediti koeficijent korisnog dejstva.



Slika 3.

4. Na slici 4 je prikazan strujni invertor. Prekidač S1 je uključen tokom  $dT_s$ , a prekidač S2 je uključen tokom  $d'T_s$ . Poznato je:  $v_{IN} = 300 \text{ V}$ ,  $n = 2$ ,  $d = \frac{1}{2}(1 + m \sin(\omega t))$ ,  $-1 < m < 1$ ,  $\omega = 100\pi \text{ rad/s}$ ,  $R = 35.35 \Omega$ ,  $C = 90.03 \mu\text{F}$ ,  $L$  je dovoljno veliko da se talasnost  $i_{IN}$  može zanemariti.

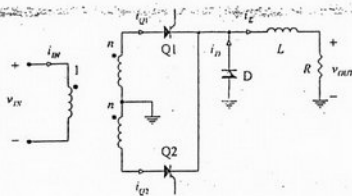
- Za  $m = 0.75$  odrediti srednju vrednost  $v_{OUT}$  na nivou periode prekidanja  $T_s$ . Nacrtati i označiti vremenski dijagram.
- Odrediti zavisnost  $i_{IN}$  od  $m$ .



Slika 4.

1. U ispravljaču sa slike 1 poznato je  $v_{IN} = 220\sqrt{2} \text{ V} \sin(2\pi 50 \text{ Hz } t)$ ,  $n = 1/2$ ,  $L = 10 \text{ H}$ ,  $R = 5 \Omega$ , tiristor Q1 se uključuje fazni ugao  $\alpha = 2\pi 50 \text{ Hz } t_n$  nakon uzlaznog prolaska ulaznog napona kroz nulu, tiristor Q2 se uključuje za isti fazni ugao nakon silaznog prolaska ulaznog napona kroz nulu, dioda i tiristori se mogu smatrati idealnim.

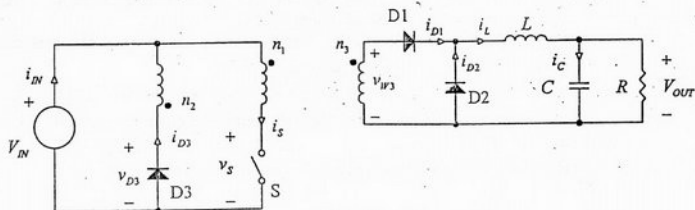
- Za  $\alpha = 90^\circ$  odrediti vremenske dijagrame  $i_{IN}$ ,  $i_{Q1}$ ,  $i_{Q2}$ ,  $i_D$  i  $i_L$ , izračunati i označiti karakteristične tačke.
- Odrediti zavisnost izlaznog napona od ugla uključjenja tiristora.
- Odrediti zavisnost faktora snage od ugla uključjenja tiristora.
- Odrediti zavisnost snage ispravljača od ugla uključjenja tiristora.
- Pri uglu uključjenja tiristora od  $\alpha = 0$  proceniti amplitudu naizmjenične komponente izlaznog napona.



Slika 1.

2. Na slici 2 je prikazan forward konvertor kod koga je  $n_1 = n_2 = 46$ ,  $L = 18 \mu\text{H}$ ,  $C = 220 \mu\text{F}$ ,  $f_s = 100 \text{ kHz}$ . 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,  $V_S = 1 \text{ V}$ . Uticaj magnetizacije induktivnosti transformatora se može zanemariti.

- Odrediti  $n_3$  tako da u kontinualnom režimu rada prekidač u jednoj periodi bude uključen  $0.4/f_s$ .
- Nacrtati vremenske dijagrame struja i napona označenih na slici 2 za  $R = 1 \Omega$ .
- Odrediti opseg  $R$  za koji konvertor radi u kontinualnom režimu.
- Odrediti minimalnu vrednost  $V_{IN}$  za koju dati konvertor sa  $n_3$  sračunato pod a) može da obezbedi  $V_{OUT} = 5 \text{ V}$ .
- Ako je maksimalna predviđena izlazna struja  $I_{OUTmax} = 5 \text{ A}$ , odrediti zavisnost koeficijenta korisnog dejstva od  $I_{OUT}$  i maksimalnu vrednost koeficijenta korisnog dejstva. Razmatrati samo kontinualni režim rada.
- Odrediti prenosnu funkciju  $H(s) = \hat{v}_{OUT}(s)/\hat{d}(s)$ .



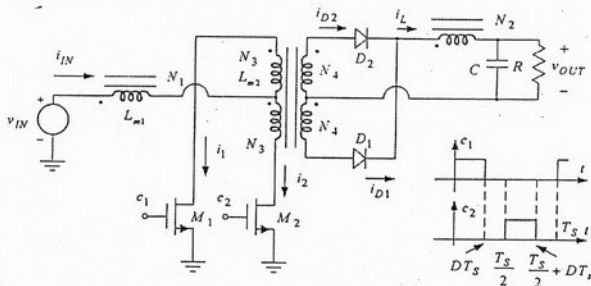
Slika 2.

3. U kolu DC-DC konvertora sa slike namotaji  $N_1$  i  $N_2$  su savršeno spregnuti tako da je  $\frac{N_1}{N_2} = \frac{N_3}{N_4} = n$ , dok su ostale upotrebne komponente idealnih karakteristika, a  $L_{m2} \rightarrow \infty$ .

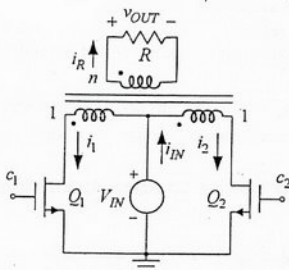
a) [4] Ako je  $D > 0,5$ , a konvertor radi u kontinualnom režimu rada, odrediti i nacrtati vremenske dijagrame napona na prekidačima i označenih struja u ustaljenom stanju, a zatim odrediti i zavisnost  $v_{OUT} = v_{OUT}(v_{IN})$ .

b) [4] Ako je  $D > 0,5$ , a konvertor radi u diskontinualnom režimu rada, odrediti i nacrtati vremenske dijagrame napona na prekidačima i označenih struja u ustaljenom stanju, a zatim odrediti i zavisnost  $v_{OUT} = v_{OUT}(v_{IN})$ .

c) [2] Pod kojim uslovom konvertor radi u kontinualnom režimu rada?



Slika 3



Slika 4

4. Push-pull inverter sa slike 4 se napaja iz baterije  $V_{IN} = 12\text{ V}$  i obezbeđuje napajanje potrošaču  $R = 200\Omega$  u odsustvu mrežnog napona. Smatrati da je magnetizaciona induktivnost transformatora  $L_m \rightarrow \infty$ .

a) [3] Ako su pobudni impulsi sa faktorom ispunje  $D \approx 0,5$ , odrediti prenosni odnos transformatora  $n$  i vremenske dijagrame stanja prekidača tako da se potrošaču predaje ista korisna snaga kao u slučaju mrežnog napona  $v = 220\sqrt{2}\text{ Vsin}(2\pi ft)$ ,  $f = 50\text{ Hz}$ .

b) [2] Nacrtati vremenske dijagrame struja i napona označenih na slici 4.

c) [1] Odrediti maksimalni stres na prekidačima  $S = V_{Qpk} I_{Qrms}$ .

d) [3] Kako treba upravljati prekidačima  $Q_1$  i  $Q_2$  tako

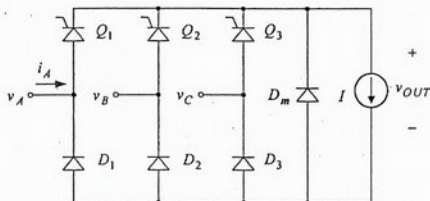
da u izlaznom naponu ne postoji treći harmonik? Nacrtati vremenske dijagrame pobudnih impulsa  $c_1$  i  $c_2$  za ovaj slučaj.

e) [1] Za slučaj iz tačke d) odrediti korisnu snagu koja se predaje potrošaču.

1. Na slici 1 prikazan je polukontrolisani trofazni ispravljač u kome se sve upotrebene komponente mogu smatрати idealnim, dok je:  $v_A = V_m \sin(\omega t)$ ,  $v_B = V_m \sin(\omega t - \frac{2\pi}{3})$ ,  $v_C = V_m \sin(\omega t + \frac{2\pi}{3})$ . 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  $\theta_3 = \frac{3\pi}{2} + \alpha$ ,  $\theta = \omega t$ ,  $0 \leq \alpha \leq \frac{\pi}{2}$ , respektivno.

Za slučaj kada je  $\alpha = \frac{\pi}{3}$ :

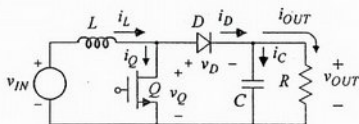
- odrediti i nacrtati vremenske dijagrame, u ustaljenom stanju u toku jedne periode mrežnog napona, struja svih dioda i tiristora i napona na izlazu,  $v_{OUT}$ ;
- odrediti srednju,  $\bar{v}_{OUT}$ , i efektivnu,  $V_{out}$ , vrednost napona na potrošaču;
- odrediti faktor snage ispravljača.



Slika 1

2. Na slici 2 prikazan je Boost konvertor. Konvertor se napaja iz baterije  $v_{IN} = 2,4V \pm 0,4V$ , radi sa konstantnim vremenom uključenosti prekidača Q,  $t_{on} = 10\mu s$ , dok se promenom vremena isključenosti,  $t_{off}$ , odnosno prekidačke učestanosti,  $f_S$ , pri promeni potrošnje u granicama  $i_{OUT} \in [100\mu A, 0,25A]$ , reguliše vrednost izlaznog napona  $v_{OUT} = 3V$ .

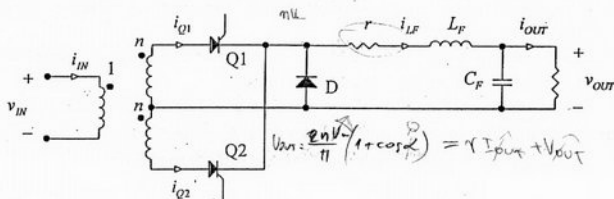
- Odrediti  $M = \frac{v_{OUT}}{v_{IN}}$ , kao i uslov koji definiše rad u diskontinualnom režimu.
- Odrediti vrednost induktivnosti  $L$  i kapacitivnosti  $C$  tako da:
  - talasnost izlaznog napona ne bude veća od  $\Delta v_{OUT} = 50mV$ ,
  - konvertor radi u diskontinualnom režimu i
  - vršna vrednost struje prekidača bude što manja.
- Pod uslovima iz tačke b) odrediti minimalnu i maksimalnu vrednost prekidačke učestanosti  $f_{Smin}$  i  $f_{Smax}$ .



Slika 2

1. Na slici 1 je prikazan ispravljač kod koga je ulazni napon oblika  $v_{IN} = V_m \sin(\omega t)$ , gde je nominalna vrednost amplitude  $V_{m, nom} = 220\sqrt{2}$  V, a kreće se u granicama od -20% do +10% nominalne vrednosti. Izlazna struja se kreće u granicama  $0 < i_{OUT} < 100$  A. Induktivnost kabela  $L_F$  je dovoljna da se talasnost njegove struje može zanemariti. Gubitke u kalemu modeluje otpornik  $r = 0.12 \Omega$ . Nominalna vrednost izlaznog napona je  $V_{OUT} = 48$  V. Ostali elementi se mogu smatrati idealnim.

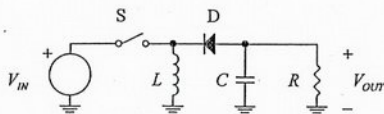
- Odrediti minimalnu vrednost prenosnog odnosa transformatora  $n$  tako da ispravljač može da zadovolji date specifikacije.
- Za  $n$  određeno pod a) odrediti opseg u kome će se kretati ugao paljenja tiristora.
- Za nominalnu vrednost amplitude ulaznog napona i  $i_{OUT} = 40$  A nacrtati vremenske dijagrame struja označenih na slici 1 i označiti karakteristične tačke.
- Za slučaj pod c) izračunati faktor snage ispravljača.



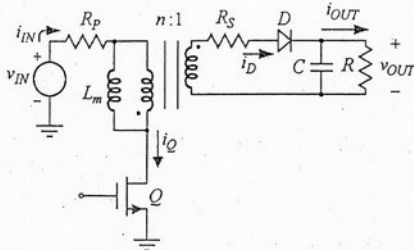
Slika 1.

2. Na slici 2 je prikazan buck-boost konvertor kod koga se upravljanje vrši tehnikom programiranja struje tako što se prekidač isključuje kada struja kabela dostigne vrednost upravljačke promenljive  $i_{L, max}$ , a ponovo se uključuje kada dioda prestane da provodi. Na taj način konvertor stalno radi na granici između kontinualnog i diskontinualnog režima rada. Poznato je:  $V_{IN} = 5$  V,  $V_{OUT} = -15$  V, maksimalna izlazna struja iznosi  $i_{OUT, max} = 0.5$  A.

- Odrediti  $L$  tako da pri maksimalnoj struji frekvencija uključivanja prekidača bude  $f_s = 25$  kHz i odrediti  $i_{L, max}$  u ovom slučaju.
- Odrediti zavisnost frekvencije prekidanja  $f_s$  od izlazne struje  $i_{OUT}$ .
- Ako talasnošću izlaznog napona dominira komponenta nastala usled parazitne ekvivalentne serijske otpornosti kondenzatora  $R_{ESR}$ , odrediti maksimalnu vrednost  $R_{ESR}$  tako da razlika između minimalne i maksimalne vrednosti izlaznog napona (peak-to-peak ripple) ne bude veća od 50 mV.



Slika 2.



Slika 3

- b) [2] Odrediti minimalnu vrednost magnetizacione induktivnosti  $L_m$  za koju konvertor uvek radi u kontinualnom režimu rada.
- c) [3] Za  $v_{IN} = 60V$  i  $i_{OUT} = 10A$  odrediti i nacrtati vremenske dijagrame obeleženih struja, kao i struje magnetizacione induktivnosti u ustaljenom stanju.
- d) [4] Za  $v_{IN} = 60V$  i  $i_{OUT} = 10A$ , ako je otpornost prekidača  $R_{ON} = 10m\Omega$ , otpornost namotaja primara  $R_P = 100m\Omega$  i otpornost namotaja sekundara  $R_S = 10m\Omega$ , odrediti i izračunati efikasnost konvertora  $\eta$ . Smatrati da je talasnost magnetizacione struje zanemarljiva.

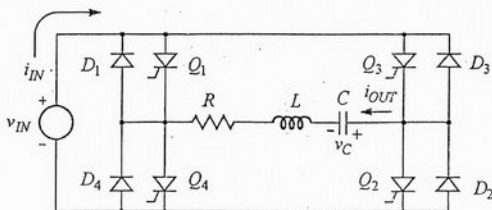
3. Na slici 3 prikazan je flyback konvertor koji radi u kontinualnom režimu rada sa konstantnom učestanošću,  $f_s = 100kHz$ . Ulazni napon se menja u opsegu  $40V \leq v_{IN} \leq 60V$ ,  $v_{OUT} = 5V$ ,  $1A \leq i_{OUT} \leq 10A$ , a  $V_D = 0.5V$ . Ukoliko se drugačije ne naglasi smatrati da je  $R_P = R_S = 0\Omega$ .

a) [1] Odrediti prenosni odnos transformatora  $n$ . Smatrati da je odnos impulsa-perioda ograničen na  $D_{max} = 0,45$ .

4. Na slici 4 prikazan je monofazni tiristorski rezonantni inverter koji radi na učestanosti  $f_0 = 3,5kHz$ . Tiristori se uključuju signalima sa gejtova, alternativno u parovima  $Q_1, Q_2$  i  $Q_3, Q_4$ , sa vremenskim razmakom od  $T = \frac{1}{2f_0}$ . Sve upotrebljene komponente su idealne, a poznato je:

$v_{IN} = 220V$ ,  $C = 6\mu F$ ,  $L = 50\mu H$  i  $R = 2\Omega$ .

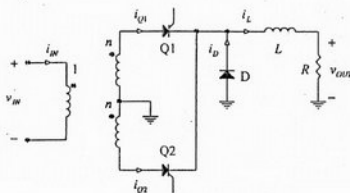
- a) [5] Izračunati i nacrtati vremenske dijagrame obeleženih struja i struja svih prekidača u toku jedne periode u ustaljenom stanju. Smatrati da je u početnom trenutku pri uključivanju tiristora  $Q_3, Q_4$ ,  $i_{OUT}(0) = 0$  i  $v_C(0) = -V_{C1}$ ,  $V_{C1} > 0$ .
- b) [2] Odrediti vrednost napona na kondenzatoru  $V_{C1}$ .
- c) [3] Odrediti srednju struju iz izvora za napajanje  $\bar{i}_{IN}$ , srednju struju tiristora  $Q_1$ ,  $\bar{i}_1$ , kao i srednju snagu koja se predaje potrošaču  $R$ .



Slika 4

1. U ispravljaču sa slike 1 poznato je  $v_{IN} = 220\sqrt{2} V \sin(2\pi 50 \text{ Hz } t)$ ,  $n = 1/2$ ,  $L = 10 \text{ H}$ ,  $R = 5 \Omega$ , tiristor Q1 se uključuje fazni ugao  $\alpha = 2\pi 50 \text{ Hz } t_a$  nakon uzlaznog prolaska ulaznog napona kroz nulu, tiristor Q2 se uključuje za isti fazni ugao nakon silaznog prolaska ulaznog napona kroz nulu, dioda i tiristori se mogu smatrati idealnim.

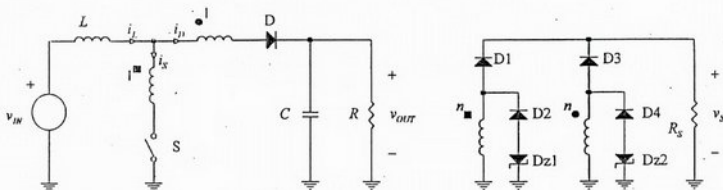
- Za  $\alpha = 90^\circ$  odrediti vremenske dijagrame  $i_{IN}$ ,  $i_{Q1}$ ,  $i_{Q2}$ ,  $i_D$  i  $i_L$ , izračunati i označiti karakteristične tačke.
- Odrediti zavisnost izlaznog napona od ugla uključjenja tiristora.
- Odrediti zavisnost faktora snage od ugla uključjenja tiristora.
- Pri uglu uključjenja tiristora od  $\alpha = 0$  proceniti amplitudu naizmjenične komponente izlaznog napona.



Slika 1.

2. Na slici 2 je prikazan boost konvertor kod koga je primenjena tehnika strujnog programiranja ograničavanjem maksimalne i minimalne vrednosti struje kalema. Ako se drugačije ne naglasi smatrati da je  $v_{IN} = 100 \text{ V}$ ,  $i_{L,max} = 2.2 \text{ A}$ ,  $i_{L,min} = 1.8 \text{ A}$ ,  $R = 200 \Omega$ , dioda i prekidač u energetskom delu kola se mogu smatrati idealnim. Poznato je  $C = 10000 \mu\text{F}$ ,  $L = 2.5 \text{ mH}$ . Pad napona na direktno polarisanim diodama u kolu za merenje struje je  $V_D = 0.7 \text{ V}$ , probojni napon zener dioda je  $V_Z = 10 \text{ V}$ , prenosni odnos transformatora je  $n = 1000$ , a  $R_S = 1 \text{ k}\Omega$ .

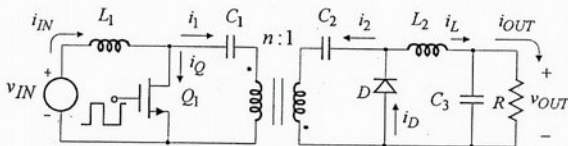
- Odrediti vremenske dijagrame  $i_L$ ,  $i_S$  i  $i_D$  u ustaljenom stanju i označiti karakteristične tačke.
- Odrediti zavisnost izlaznog napona od ulaznog napona i otpornosti potrošača.
- Odrediti vremenske dijagrame struja dioda D1, D2, D3 i D4, izračunati i označiti karakteristične tačke.
- Ako se ulazni napon promeni sa  $100 \text{ V}$  na  $105 \text{ V}$ , a  $i_{L,min}$  i  $i_{L,max}$  održavaju konstantnim, odrediti vremenski dijagram izlaznog napona tokom prelaznog procesa.



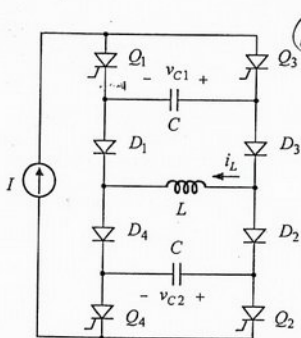
Slika 2.

3. Za Ćuk konvertor sa slike 3 je poznato:  $250V \leq v_{IN} \leq 350V$ ,  $L_1 = 1mH$ ,  $L_2 = 30\mu H$ ,  $C_3 \rightarrow \infty$ , transformator je savršen, a njegova magnetizaciona induktivnost merena sa primarne strane je  $L_m = 10mH$ , prekidačka učestanost  $f_s = 100kHz$ ,  $v_{OUT} = 5V$ ,  $i_{OUT} = 50A$ , a upotrebljeni prekidači su idealni.

- Ako se zna da konvertor radi u kontinualnom režimu rada odrediti izraz za odnos  $v_{OUT}/v_{IN}$ .  
Smatrati da se talasnost napona na kondenzatorima  $C_1$  i  $C_2$  može zanemariti.
- Ako je  $D_{max} = 0,45$ , pod uslovima iz tačke a), odrediti prenosni odnos transformatora  $n$ .
- Za  $v_{IN} = 250V$ , sa  $n$  iz prethodne tačke, izračunati i nacrtati vremenske dijagrame obeleženih struja u ustaljenom stanju u toku jedne periode prekidačke učestanosti.
- Kako treba modifikovati kolo sa slike tako da se postigne da je talasnost i ulazne i izlazne struje jednaka mli?



Slika 3



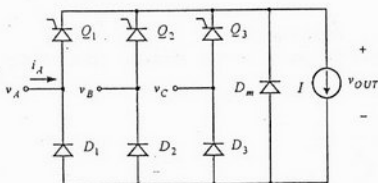
Slika 4

4. Na slici 4 prikazan je monofazni tiristorski inverter za napajanje induktivnog potrošača. Tiristori se uključuju signalima sa gejtova, provode alternativno u parovima  $Q_1, Q_2$  i  $Q_3, Q_4$ , a sve upotrebljene komponente su idealne.

- Izračunati i nacrtati vremenske dijagrame obeleženih napona i struja u toku prelaznog režima promene polariteta struje kroz potrošač. Smatrati da je u početnom trenutku posmatranja napon na kondenzatorima  $v_{C1}(0) = v_{C2}(0) = V_0 > 0$ .
- Odrediti raspoloživo vreme  $t_q$  za komutaciju tiristora i početni napon na kondenzatorima  $V_0$ .
- Odrediti maksimalnu prekidačku učestanost za koju kolo ispravno radi.

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

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  $\theta_3 = \frac{3\pi}{2} + \alpha$ ,  $\theta = \omega t$ ,  $0 \leq \alpha \leq \frac{\pi}{2}$ , respektivno.

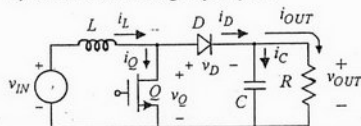


Slika 1

Za slučaj kada je  $\alpha = \frac{\pi}{2}$ :

- + a) odrediti i nacrtati vremenske dijagrame, u ustaljenom stanju u toku jedne periode mrežnog napona, struja svih dioda i tiristora i napona na izlazu,  $v_{OUT}$ ;
- b) odrediti srednju,  $\bar{v}_{OUT}$ , i efektivnu,  $V_{out}$ , vrednost napona na potrošaču;
- c) odrediti srednju i efektivnu vrednost struje svih tiristora;

d) odrediti faktor snage ispravljača.



Slika 2

2. U Boost konvertoru sa slike 2 upotrebljene su idealne komponente osim diode sa  $V_D = 1V$ , a poznato je:  $10V \leq v_{IN} \leq 16V$ ,  $v_{OUT} = 24V$ ,  $1A \leq i_{OUT} \leq 10A$  i  $f_S = 100kHz$ .

a) Odrediti minimalne vrednosti induktivnosti  $L$  i kapacitivnosti  $C$  tako da konvertor uvek radi u kontinualnom režimu sa talasnošću izlaznog

napona  $\Delta v_{OUTp-p} \leq 100mV$ .

b) Smatrajući da je talasnost struje induktivnosti zanemarljiva izabrati feritno jezgro za projektovanje induktivnosti tako da njeni gubici budu manji od  $P_{max} = 1W$ . Poznato je: faktor ispunje,  $k_U = 0,5$ , maksimalna magnetna indukcija u jezgru,  $B_{max} = 0,25T$ , specifična otpornost bakra,  $\rho = 1,724 \cdot 10^{-7} \Omega/cm$ .

Za izabrano feritno jezgro:

- c) izračunati dužinu vazdušnog procepa  $l_g$ ;
  - d) odrediti broj zavojava i izabrati žicu za namotaje.
- Na raspolaganju su sledeća feritna jezgra:

	$K_g \cdot 10^{-3} [cm^5]$	$A_c [cm^2]$	$W_a [cm^2]$	$MLT [cm]$
PQ20/16	22.4	0.62	0.256	4.4
PQ20/20	33.6	0.62	0.384	4.4
ETD29	97.8	0.76	0.903	5.33

$A_c$ -površina poprečnog preseka jezgra,  $W_a$ -površina poprečnog preseka prostora za namotaje,

$MLT$ -dužina srednje linije namotaja i  $K_g = (A_c^2 W_a) / MLT$ .

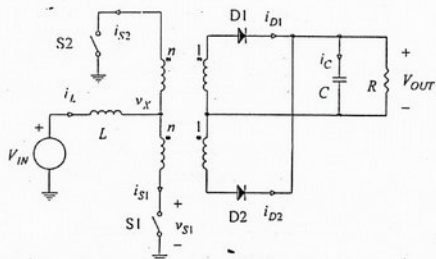
Bakarni provodnici su sledećih karakteristika:

$A_{IP} \cdot 10^{-3} [cm^2]$	41.60	33.08	26.26	20.02	16.51	13.07	10.39	8.228
$d_{IP} [cm]$	0.238	0.213	0.190	0.171	0.153	0.137	0.122	0.109

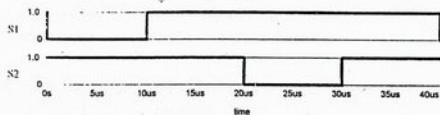
$A_{IP}$ -površina poprečnog preseka žice i  $d_{IP}$ -prečnik žice.

3. U konvertoru sa slike 3.a prekidači su kontrolisani signalima prikazanim na slici 3.b, a poznato je  $n=4$ ,  $V_{IN} = 100\text{ V}$ ,  $L = 500\mu\text{H}$ ,  $C = 1000\mu\text{F}$ ,  $R = 8.333\Omega$ ,  $L_m = 20\text{ mH}$  mereno sa primarne strane, frekvencija prekidanja je  $f_N = 25\text{ kHz}$ .

- Smatrajući magnetizacionu inuktivnost transformatora beskonačno velikom, nacrtati vremenske dijagrame označenih struja i napona tokom jedne periode prekidanja i označiti karakteristične vrednosti.
- Odrediti izlazni napon.
- Odrediti vremenski dijagram struje magnetizacione inuktivnosti.
- Nacrtati vremenske dijagrame struja dioda ne zanemarujući struju magnetizacione inuktivnosti i označiti karakteristične vrednosti.



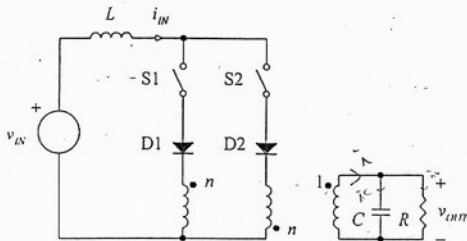
slika 3.a



slika 3.b

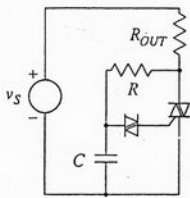
4. Na slici 4 je prikazan strujni invertor. Prekidač S1 je uključen tokom  $dT_N$ , a prekidač S2 je uključen tokom  $d'T_N$ . Poznato je:  $v_{IN} = 300\text{ V}$ ,  $n = 2$ ,  $d = \frac{1}{2}(1 + m \sin(\omega t))$ ,  $-1 < m < 1$ ,  $\omega = 100\pi\text{ rad/s}$ ,  $R = 35.35\Omega$ ,  $C = 90.03\mu\text{F}$ ,  $L$  je dovoljno veliko da se talasnost  $i_{IN}$  može zanemariti.

- Za  $m = 0.75$  odrediti srednju vrednost  $v_{OUT}$  na nivou periode prekidanja  $T_N$ . Nacrtati i označiti vremenski dijagram.
- Odrediti zavisnost  $i_{IN}$  od  $m$ .



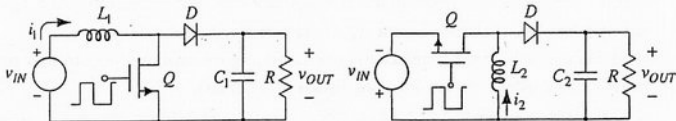
Slika 4.

1. Na slici 1 je prikazan regulator napona na otpornom potrošaču  $R_{OUT}$ . Trijak se uključuje preko dijaka naponom  $\pm 20V$ , a poznato je:  $v_s = 220\sqrt{2}V\sin(100\pi)$  i  $C = 330nF$ , dok su upotrebljeni prekidači idealni.
- a) Ako snaga potrošača treba da se reguliše od 5% do 100% njene nominalne vrednosti izračunati maksimalni i minimalni ugao paljenja trijaka  $\alpha_{max}$  i  $\alpha_{min}$ , a zatim odrediti vrednosti otpornosti u kotlu paljenja trijaka  $R_{max}$  i  $R_{min}$ .
- b) Za  $\alpha = \frac{\pi}{2}$  nacrtati vremenske dijagrame napona na potrošaču  $R_{OUT}$  i kondenzatoru  $C$ .



Slika 1

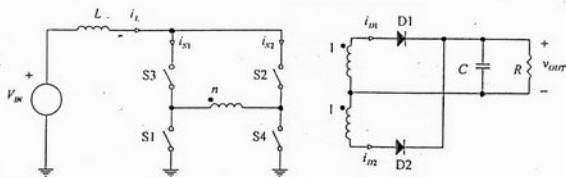
2. Na slici 2 prikazana su dva DC-DC konvertora koji iz istog ulaznog napona  $v_{IN} = 300V$ , u kontinualnom režimu, na potrošaču  $R = 40\Omega$  obezbeđuju konstantan napon  $v_{OUT} = 400V$ . Smatrati da su talasnosti struja induktivnosti zanemarljive, tj.  $i_1 = I_1$  i  $i_2 = I_2$ , kao i talasnosti napona na kondenzatoru, tj.  $v_{C1} = v_{OUT}$  i  $v_{C2} = v_{OUT}$ .
- a) Ako su upotrebljeni prekidači idealni, za oba konvertora odrediti i nacrtati vremenske dijagrame struja induktivnosti, struja prekidača i napona na njima.
- b) Ako je otpornost prekidača  $Q$ ,  $R_{ON} = 0,5\Omega$ , a sve ostale komponente su idealne odrediti koeficijent iskorišćenja za oba konvertora.
- c) Sa stanovišta efikasnosti odrediti koji konvertor je bolji za datu aplikaciju?



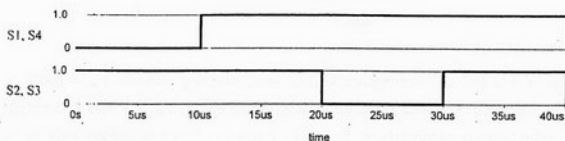
Slika 2

3. U konvertoru sa slike 3.a prekidači su kontrolisani signalima prikazanim na slici 3.b, a poznato je  $n=2$ ,  $V_{IN} = 200\text{ V}$ ,  $L = 500\mu\text{H}$ ,  $C = 1000\mu\text{F}$ ,  $R = 10\Omega$ ,  $L_m = 10\text{ mH}$  mereno sa primarne strane, učeštanost prekidanja je  $f_S = 25\text{ kHz}$ .

- Smatrajući magnetizacionu induktivnost transformatora beskonačno velikom nacrtati vremenske dijagrame označenih struja i napona tokom jedne periode prekidanja i označiti karakteristične vrednosti.
- Odrediti izlazni napon.
- Odrediti vremenski dijagram struje magnetizacione induktivnosti.
- Nacrtati vremenske dijagrame struja dioda ne zanemarujući struju magnetizacione induktivnosti i označiti karakteristične vrednosti.
- Proceniti amplitudu talasnosti izlaznog napona ako je ekvivalentna serijska otpornost kondenzatora  $esr = 100\text{ m}\Omega$ .



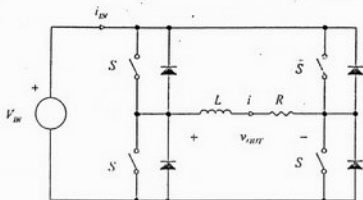
slika 3.a



slika 3.b

4. Na slici 4 je prikazan inverter opterećen rednom vezom kalemata induktivnosti  $L = 500\text{ mH}$  i otpornika otpornosti  $R = 100\Omega$ . Ulazni napon je  $V_{IN} = 600\text{ V}$ , a prekidači su kontrolisani signalom  $v_S$  sa faktorom ispunjenosti impulsa  $d(t) = 0.5 + 0.25 \sin(2\pi 50\text{ Hz } t)$ , tako što su za  $v_S = 1$  prekidači označeni sa  $S$  uključeni a prekidači označeni sa  $\bar{S}$  isključeni, dok su za  $v_S = 0$  prekidači označeni sa  $S$  isključeni, a prekidači označeni sa  $\bar{S}$  uključeni. Prekidačka učeštanost je  $f_S = 50\text{ kHz}$ .

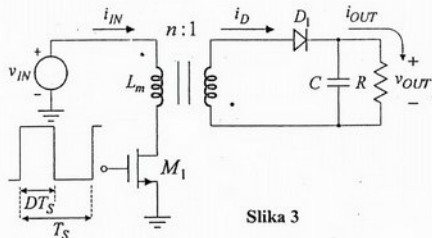
- Odrediti zavisnost srednje vrednosti izlaznog napona tokom periode prekidanja od  $d$ ,  $\overline{v_{OUT}}(d)$ .
- Odrediti talasni oblik izlaznog napona  $\overline{v_{OUT}}(t)$  za gore specificirano  $d(t)$ .
- Odrediti talasni oblik struje potrošača  $i(t)$  i zavisnost njegove talasnosti (peak-to-peak ripple) od vremena tokom jedne periode kontrolnog signala  $d(t)$  (20 ms).
- Odrediti talasni oblik srednje vrednosti ulazne struje tokom periode prekidanja,  $\overline{i_{IN}}$ , tokom jedne periode kontrolnog signala  $d(t)$  (20 ms).



Slika 4

3. Na slici 3 je prikazan flyback konvertor kod koga je transformator savršen. Ulazni napon se menja u opsegu  $v_{IN} \in [200V, 350V]$ , a struja potrošaša,  $i_{OUT} \in [0,1A, 1A]$ , izlazni napon se održava konstantnim pomoću kola povratne sprege na  $v_{OUT} = 5V$ , koje istovremeno obezbeđuje da odnos impuls-perioda,  $D$ , ne pređe  $D_{max} = 0,5$ , a prekidačka učestanost je  $f_s = 50kHz$ .

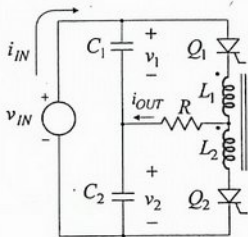
- Odrediti vrednost magnetizacione induktivnosti  $L_m$  i prenosni odnos transformatora  $n$ , tako da konvertor uvek radi u diskontinualnom režimu.
- Sa vrednostima za  $L_m$  i  $n$  odrediti i nacrtati vremenske dijagrame obeleženih struja i napona na prekidačima za slučaj  $v_{IN} = 200V$  i  $i_{OUT} = 1A$ .
- Pod uslovom iz tačke a) odrediti minimalnu vrednost kapacitivnosti  $C_{min}$ , tako da talasnost izlaznog napona ne predje  $\Delta v_{OUTp-p} = 50mV$ .



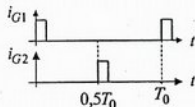
Slika 3

4. Pobudne struje za tiristore u serijskom rezonantnom invertoru sa slike 4.a. prikazane su na slici 4.b. U početnom trenutku je  $v_2(0) = -V_2$ ,  $V_2 > 0$  i  $i_{OUT}(0) = 0$ , a poznato je:  $v_{IN} = 220V$ ,  $C_1 = C_2 = C = 3\mu F$ ,  $L_1 = L_2 = L = 50\mu H$ ,  $R = 2\Omega$  i  $f_0 = 1/T_0 = 7kHz$ .

- Odrediti i nacrtati vremenske dijagrame označenih napona i struja u toku jedne periode  $T_0$ .
- Kolika je amplituda ulazne struje  $I_{INm}$ ?
- Odrediti maksimalnu učestanost rada invertora  $f_{0max}$  ako je vreme isključivanja tiristora  $t_{off} = 10\mu s$ .



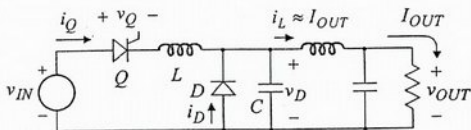
Slika 4.a



Slika 4.b

1. Na slici 1 je prikazan tiristorski rezonantni čoper u kome su  $L$  i  $C$  dodati da bi se obezbedila komutacija tiristora  $Q$ . Smatrati da su upotrebjene komponente idealnih karakteristika, da je struja potrošača  $I_{OUT}$  konstantna i da se tiristor  $Q$  uključuje u početnom trenutku posmatranja.

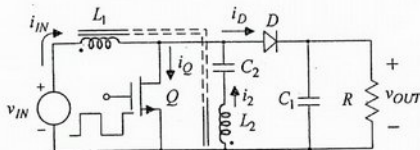
- Izračunati i nacrtati vremenske dijagrame napona i struja na prekidačima u toku jedne prekidačke periode  $T_S$ .
- Odrediti maksimalnu vrednost struje potrošača  $I_{OUT\max}$  za koju čoper ispravno radi.
- Odrediti izraz za  $v_{OUT}$  u funkciji parametara kola.
- Predložiti šemu i objasniti način rada kola za regulaciju izlaznog napona.



Slika 1

2. Na slici 2 je prikazan Boost DC-DC konverter. Prekidački elementi su idealnih karakteristika,  $C_1 = C_2 \rightarrow \infty$ , induktivnosti  $L_1$  i  $L_2$  su magnetno spregnute, međuinduktivnost  $L_M$  i koeficijent sprege  $k$  su poznati, a konverter radi sa konstantnom učestanošću prekidanja  $f_s$ .

- Ako se zna da konverter radi u diskontinualnom režimu rada nacrtati vremenske dijagrame označenih struja i napona na prekidačima u ustaljenom režimu rada u toku jedne periode.
- Odrediti vrednost koeficijenta sprege induktivnosti  $L_1$  i  $L_2$ , u funkciji parametara konvertora, pri kojoj je talasnost ulazne struje  $i_{IN}$ ,  $\Delta i_{IN}$ , jednaka nuli.
- Pod uslovom iz tačke b) odrediti karakteristiku prenosa konvertora  $M = \frac{v_{OUT}}{v_{IN}}$  u funkciji parametara konvertora.



Slika 2

1. U kolu sa slike 1 tiristori Q1 i Q2 se uključuju simetrično, tiristor Q1 za fazni ugao  $\alpha = \omega_0 t_a$  nakon ulaznog prolaska kroz nulu ulaznog napona, a tiristor Q2 za isti fazni ugao nakon silaznog prolaska kroz nulu ulaznog napona. Ulazni napon je oblika  $v_{IN}(t) = V_m \sin(\omega_0 t)$ , a prenosni odnos transformatora je  $n:1$ .

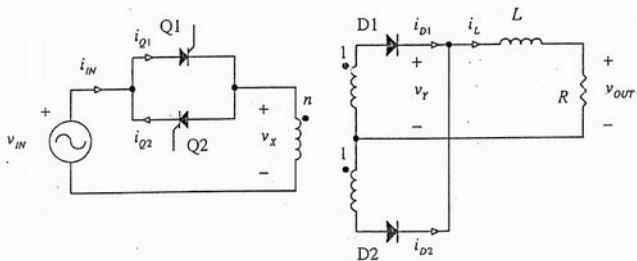
a) Smatrajući da je induktivnost  $L$  dovoljno velika da se njena struja može smatrati konstantnom,  $i_L(t) = I$ , nacrtati vremenske dijagrame struja i napona označenih na slici 1 tokom jedne periode ulaznog napona i označiti karakteristične vrednosti.

b) Pod pretpostavkom kao pod a) odrediti zavisnost jednosmerne komponente izlaznog napona od ugla  $\alpha$ ,  $V_{OUT}(\alpha)$ .

c) Ako je  $\tau = \frac{L}{R} \gg \frac{1}{f_0}$ , gde  $f_0 = \frac{\omega_0}{2\pi}$ , odrediti zavisnost srednje vrednosti izlaznog napona tokom poluperiode ulaznog napona pri promeni ugla paljenja tiristora sa  $\alpha = 0$  na  $\alpha = 45^\circ$ .

d) Za ulaznu struju odrediti  $THD(\alpha = 0)$ .

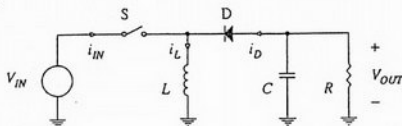
-e) Odrediti  $PF(\alpha = 90^\circ)$ .



Slika 1

2. Na slici 2 je prikazan buck-boost konvertor kod koga je  $D = 0.5$  (ne menja se),  $L = 100 \mu\text{H}$ ,  $V_{IN} = 100 \text{ V}$  ako se drugačije ne naglasi, dioda i prekidač su idealni, kondenzator je dovoljno velike kapacitivnosti da se talasnost njegovog napona može zanemariti, učestanost prekidanja je  $f_s = 100 \text{ kHz}$ , potrošač  $R$  je promenljiv.

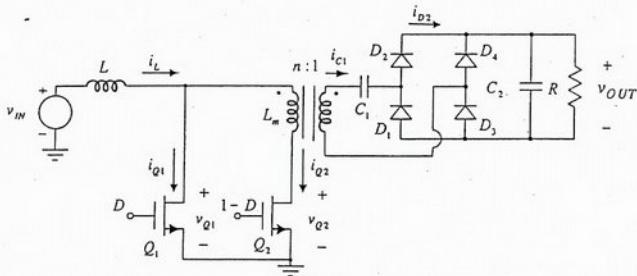
- Odrediti opseg izlaznog napona za koji konvertor radi u diskontinualnom režimu.
- Odrediti opseg otpornosti potrošača za koji konvertor radi u diskontinualnom režimu.
- Odrediti ulaznu snagu.
- Odrediti zavisnost izlaznog napona od ulaznog napona i otpornosti potrošača u diskontinualnom režimu.



Slika 2

3. U kolu sa slike 3 DC-DC konvertor radi u kontinualnom režimu rada, svi prekidači su idealni, transformator je savršen, prekidački tranzistori se pobuđuju komplementarnim signalima, a poznato je:  $V_{IN} = 50V$ ,  $V_{OUT} = 50V$ ,  $f_s = 40kHz$ ,  $D = 0,7$ ,  $R = 10\Omega$  i  $L = L_m = 650\mu H$ .

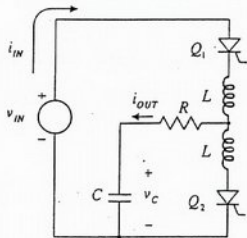
- Smatrajući da je talasnost napona na kondenzatorima  $C_1$  i  $C_2$  zanemarljiva odrediti izraz za  $M = v_{OUT} / v_{IN}$  u stacionarnom stanju.
- Pod uslovom iz tačke a) odrediti i nacrtati dijagrame obeleženih napona i struja u toku jedne periode prekidanja.
- Odrediti efektivne vrednosti struja i inverzne napone prekidačkih tranzistora.
- Odrediti minimalnu vrednost kapacitivnosti kondenzatora,  $C_{2min}$ , tako da talasnost izlaznog napona ne bude veća od  $\Delta v_{OUT-p-p} = 250mV$ .



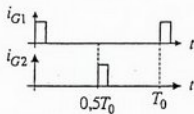
Slika 3

4. Pobudne struje za tiristore u serijskom rezonantnom invertoru sa slike 4.a. prikazane su na slici 4.b. U početnom trenutku posmatranja je  $v_C(0) = -V_C$ ,  $V_C > 0$  i  $i_{OUT}(0) = 0$ , a poznato je:  $v_{IN} = 220V$ ,  $C = 6\mu F$ ,  $L = 50\mu H$ ,  $R = 2\Omega$  i  $f_0 = 1/T_0 = 7kHz$ .

- Odrediti i nacrtati vremenske dijagrame označenih napona i struja u toku jedne periode  $T_0$ .
- Odrediti raspoloživo vreme za komutaciju tiristora  $t_q$ .
- Odrediti maksimalnu učestanost rada invertora,  $f_{0max}$ , ako je vreme isključivanja tiristora  $t_{off} = 10\mu s$ .



Slika 4.a



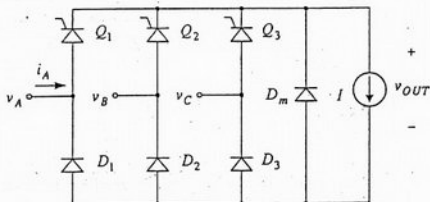
Slika 4.b

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

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.

Za slučaj kada je  $\alpha = \frac{\pi}{2}$ :

- odrediti i nacrtati vremenske dijagrame, u ustaljenom stanju u toku jedne periode mrežnog napona, struja svih dioda i tiristora i napona na izlazu,  $v_{OUT}$ ;
- odrediti srednju,  $\bar{v}_{OUT}$ , i efektivnu,  $V_{out}$ , vrednost napona na potrošaču;
- odrediti faktor snage ispravljača.



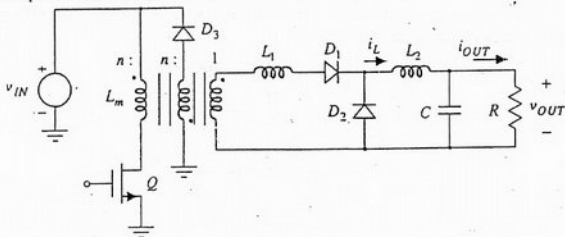
Slika 1

2. U Forward konvertoru sa slike 2, koji radi sa konstantnom učestanošću prekidanja,  $f_s = 50\text{kHz}$ , upotrebljene su komponente idealizovanih karakteristika, a poznato je:  $v_{IN} = 48\text{V}$ ,  $n = 4$ ,  $L_1 = 100\mu\text{H}$ ,  $R = 0,12\Omega$ ,  $C \rightarrow \infty$ .

- Ako je  $L_1 = 0\text{H}$  odrediti opseg vrednosti izlaznog napona, koji se može dobiti promenom odnosa impuls-perioda,  $D$ .

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

- odrediti maksimalnu vrednost napona na izlazu  $v_{OUT\max}$  i
- nacrtati vremenske dijagrame, u ustaljenom stanju u toku jedne periode prekidanja, napona i struja svih prekidača i induktivnosti.



Slika 2

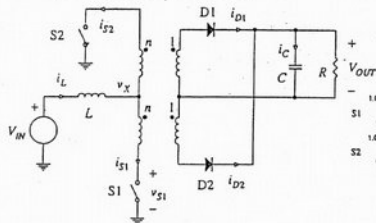
3. U konvertoru sa slike 3.a prekidači su kontrolisani signalima prikazanim na slici 3.b, a poznato je  $n=4$ ,  $V_{IN} = 100\text{ V}$ ,  $L = 500\mu\text{H}$ ,  $C = 1000\mu\text{F}$ ,  $R = 8.333\Omega$ ,  $L_m = 20\text{ mH}$  mereno sa primarne strane, učestanost prekidanja je  $f_s = 25\text{ kHz}$ .

a) Smatrajući magnetizacionu induktivnost transformatora beskonačno velikom nacrtati vremenske dijagrame označenih struja i napona tokom jedne periode prekidanja i označiti karakteristične vrednosti.

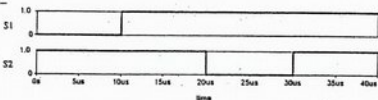
b) Odrediti izlazni napon.

c) Odrediti vremenski dijagram struje magnetizacione induktivnosti.

d) Nacrtati vremenske dijagrame struja dioda ne zanemarujući struju magnetizacione induktivnosti i označiti karakteristične vrednosti.



Slika 3.a



Slika 3.b

4) Na slici 4 je prikazan push-pull inverter koji obezbedjuje pomoćno napajanje potrošača male snage za vreme nestanka struje. Inverter se napaja iz akumulatora napona  $V_{IN} = 12\text{ V}$ . Smatrati da je mrežni napon  $v = 220\sqrt{2}\text{ V}\sin(2\pi 50\text{ Hz}t)$ . Magnetizaciona induktivnost transformatora merena sa sekundarne strane iznosi  $L_m = 40\text{ H}$ . Učestanost prekidanja u inverteru je  $f_s = 50\text{ Hz}$ .

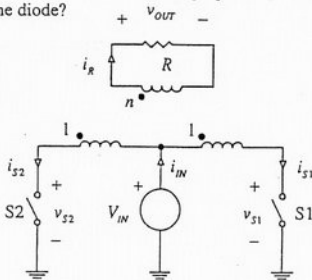
a) Odrediti prenosni odnos transformatora  $n$  i vremenske dijagrame stanja prekidača tako da amplituda i efektivna vrednost izlaznog napona budu jednaki amplitudi i efektivnoj vrednosti mrežnog napona.

b) Za slučaj a) nacrtati vremenske dijagrame struja i napona označenih na slici 4, ako je  $R = 100\Omega$ .

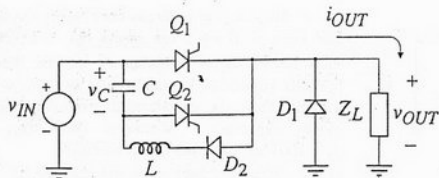
c) Nacrtati vremenski dijagram struje magnetizacione induktivnosti za slučaj b). Koristiti razumne aproksimacije.

d) Ako je u inverteru korišćen mrežni transformator tako što je primar mrežnog transformatora upotrebljen kao sekundar transformatora u inverteru, hoće li jezgro transformatora ući u zasićenje za pobudu tranzistora određenu pod a)? Obrazložiti odgovor.

e) Za  $R \rightarrow \infty$  nacrtati vremenske dijagrame struja i napona prekidača i označiti karakteristične tačke. Prekidače smatrati idealnim i neuništivim. Da li je potrebno da MOSFET-ovi kojima se realizuju prekidači imaju zamajne diode?



Slika 4



Slika 1

1. Na slici 1. je prikazan tiristorski čoper čija je učestanost rada  $f = 400\text{Hz}$ . Poznato je:  $v_{IN} = 220\text{V}$ , struja induktivnog potrošača je  $i_{OUT} = 450\text{A}$ , vreme isključivanja tiristora  $Q_1$  je  $t_{off} = 18\mu\text{s}$ , dok su svi ostali prekidači idealni. U početnom trenutku se uključuje tiristor  $Q_1$ , dok je napon na kondenzatoru  $v_C(0) = V_C > 0$ .

a) Odrediti i nacrtati vremenske dijagrame,

u ustaljenom stanju u toku periode  $T = 1/f$ , struja svih prekidača ( $Q_1, Q_2, D_1, D_2$ ), napona na kondenzatoru,  $v_C$ , tiristoru  $Q_1$ ,  $v_{AK1}$ , i izlaznog napona,  $v_{OUT}$ .

b) Ako je struja tiristora  $Q_1$  ograničena,  $i_{Q1} \leq 1.8i_{OUT}$ , izračunati vrednosti komutacione kapacitivnosti  $C$  i induktivnosti  $L$ .

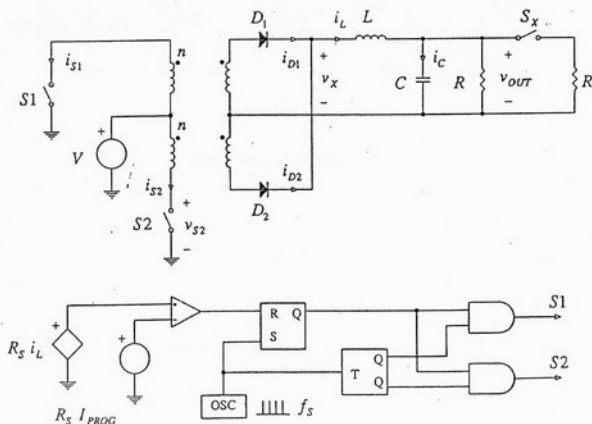
c) Pod uslovima iz tačke b) odrediti minimalnu i maksimalnu srednju vrednost napona na potrošaču  $\bar{v}_{OUT}$ .

2. Na slici 2 je prikazan push-pull konvertor kod koga je primenjena tehnika strujnog programiranja limitiranjem vršne vrednosti struje kalema. Prekidač  $S_X$  smatratu isključenim ako se drugačije ne naglasi. Poznato je  $V = 50\text{V}$ ,  $n = 2$ , magnetizaciona induktivnost transformatora se može smatrati beskonačno velikom,  $L = 50\mu\text{H}$ ,  $R = 10\Omega$ ,  $R_S = 2\Omega$ ,  $I_{PROG} = 1\text{A}$ ,  $f_s = 100\text{kHz}$ . Prilikom izračunavanja izlaznog napona može se zanemariti talasnost struje kalema. Parametar  $I_{PROG}$  je konstantan.

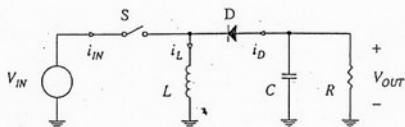
a) Nacrtati vremenske dijagrame struja  $i_{S1}$ ,  $i_{S2}$ ,  $i_{D1}$ ,  $i_{D2}$ ,  $i_L$ ,  $i_C$ , napona  $v_{S2}$ ,  $v_X$ , i stanja prekidača  $S1$  i  $S2$  tokom jedne periode prekidanja i izračunati i naznačiti karakteristične vrednosti. Izračunati izlazni napon  $v_{OUT}$ .

b) Ako je za  $t < 0$  konvertor radio u ustaljenom stanju pri otvorenom prekidaču  $S_X$  i ako se u  $t = 0$  prekidač  $S_X$  zatvori, nacrtati vremenski dijagram izlaznog napona za  $t > 0$ .

c) Izračunati i uporediti ulaznu snagu konvertora u ustaljenom stanju pre i posle zatvaranja prekidača  $S_X$ .



Slika 2



Slika 3

3. Na slici 3 je prikazan buck-boost konvertor, kod koga je  $D=0.5$  (ne menja se),  $L=100\mu\text{H}$ ,  $V_{IN}=100\text{V}$ . ako se drugačije ne naglasi, dioda i prekidač su idealni, kondenzator je dovoljno velike kapacitivnosti da se talasnost njegovog napona može zanemariti, učestanost prekidanja je  $f_s=100\text{kHz}$ , potrošač  $R$  je promenljiv.

a) Odrediti opseg izlaznog napona za koji

konvertor radi u diskontinualnom režimu.

b) Odrediti opseg otpornosti potrošača za koji konvertor radi u diskontinualnom režimu.

c) Odrediti ulaznu snagu.

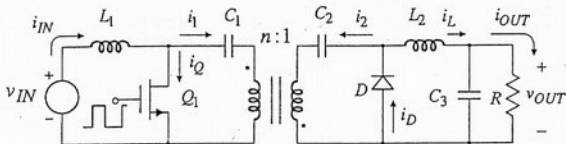
d) Odrediti zavisnost izlaznog napona od ulaznog napona i otpornosti potrošača u diskontinualnom režimu.

4. Na slici 4 je prikazan Čuk konvertor sa galvanском izolacijom ulaza i izlaza. Poznato je:  $v_{IN}=270\text{V}$ ,  $L_1=1\text{mH}$ ,  $L_2=10\mu\text{H}$ ,  $C_3\rightarrow\infty$ , transformator je savršen, a njegova magnetizaciona induktivnost merena sa primarne strane je  $L_m=2\text{mH}$ , prekidačka učestanost  $f_s=100\text{kHz}$ ,  $v_{OUT}=5\text{V}$ ,  $i_{OUT}=50\text{A}$ , a upotrebljeni prekidači su idealni.

a) Ako se zna da konvertor radi u kontinualnom režimu rada odrediti izraz za odnos  $v_{OUT}/v_{IN}$  u stacionarnom stanju. Smatrati da se talasnost napona na kondenzatorima  $C_1$  i  $C_2$  može zanemariti.

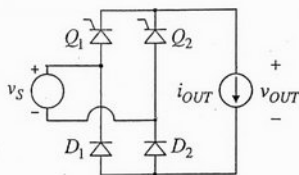
b) Ako se pomoću kola kontrolne elektronike u ustaljenom stanju učini da je odnos impuls-perioda pobudnih impulsa na gejtju prekidača  $Q_1$   $D=0,45$ , pod uslovima iz tačke a), izračunati i nacrtati vremenske dijagrame obeleženih struja u toku jedne periode prekidačke učestanosti.

c) Kako treba modifikovati kolo sa slike tako da se postigne da je talasnost i ulazne i izlazne struje jednaka nuli.



Slika 4

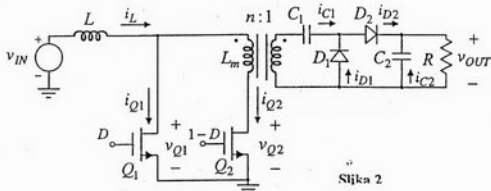
Ispit traje četiri sata.



Slika 1

1. Na slici 1 je prikazan monofazni tiristorski ispravljač sa polukontrolisanim tiristorskim mostom. Tiristori  $Q_1$  i  $Q_2$  se uključuju sa međusobnim faznim pomerajem od  $180^\circ$ , pri čemu se ugao uključivanja  $\alpha$  meri od uzlaznog prolaska kroz nulu faznog napona do uključivanja tiristora  $Q_1$ . Odrediti:

- opseg u kome se može nalaziti ugao  $\alpha$ ,
  - zavisnost srednje vrednosti izlaznog napona od ugla  $\alpha$ ,
  - zavisnost faktora snage od ugla  $\alpha$
- d) zavisnost ukupnog harmonijskog izobličenja od ugla  $\alpha$ .

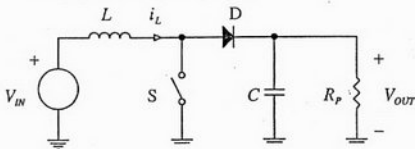


Slika 2

2. U kolu sa slike 2 DC-DC konvertor radi u kontinualnom režimu rada, svi prekidači su idealni, transformator je savršen, prekidački tranzistori se pobuđuju komplementarnim signalima, a poznato je:  $V_{IN} = 48\text{V}$ ,  $V_{OUT} = 48\text{V}$ ,  $f_S = 50\text{kHz}$ ,  $D = 0,7$ ,

$P_{OUT} \in [150\text{W}, 300\text{W}]$ ,  $L = L_m = 700\mu\text{H}$ ,  $C_1 = 470\mu\text{F}$ .

- Smatrajući da je talasnost napona na kondenzatorima  $C_1$  i  $C_2$  zanemarljiva odrediti izraz za  $v_{OUT} / v_{IN}$  u stacionarnom stanju.
- Pod uslovom iz tačke a) odrediti (u opštim brojevima) i nacrtati dijagrame obeleženih napona i struja u toku jedne periode prekidanja.
- Odrediti maksimalne efektivne vrednosti struja prekidačkih tranzistora.
- Odrediti kapacitivnost kondenzatora  $C_{2min}$  tako da talasnost izlaznog napona ne bude veća od 1% njegove srednje vrednosti.



Slika 3

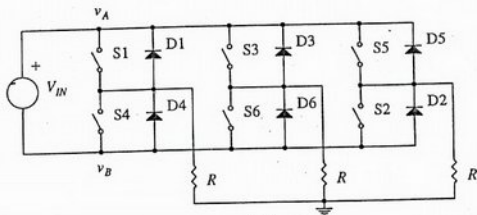
3. Na slici 3 je prikazan boost konvertor male snage koji radi u diskontinualnom režimu. Ulazni napon je  $V_{IN} = 24\text{V}$ , a izlazni napon se održava konstantnim na  $V_{OUT} = 48\text{V}$  promenom učestanosti prekidanja  $f_S$ .

Konvertorom se upravlja tako što je prekidač uključen sve dok struja kabela  $L = 240\mu\text{H}$  ne dostigne

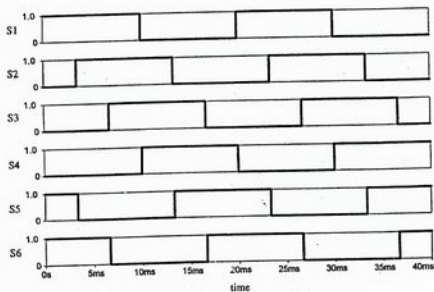
$i_{Lmax} = 1\text{A}$ , nakon čega se prekidač isključuje sve do narednog uključivanja. Kapacitivnost izlaznog kondenzatora se može smatrati dovoljno velikom da se talasnost izlaznog napona može zanemariti.

- Odrediti opseg snage potrošača u kome će konvertor raditi u diskontinualnom režimu.
- Odrediti opseg otpornosti potrošača u kome će konvertor raditi u diskontinualnom režimu.
- Odrediti zavisnost snage potrošača od učestanosti prekidanja.
- Odrediti učestanost prekidanja i vremenski dijagram struje kabela za  $R_p = 192\Omega$ .
- Odrediti prenosne funkcije  $F(s) = \hat{i}_L(s) / \hat{f}_S(s)$  i  $H(s) = \hat{v}_{OUT}(s) / \hat{f}_S(s)$ .

4. Na slici 4.a je prikazan six-step inverter. Dijagram stanja prekidača u inverteru je prikazan na slici 4.b. Poznato je  $V_{IN} = 300\text{ V}$ ,  $R = 10\ \Omega$ .
- Odrediti vremenske dijagrame napona  $v_A$  i  $v_B$  na vremenskom intervalu  $0 < t < 40\text{ ms}$ .
  - Odrediti vremenske dijagrame napona na otpornicima na vremenskom intervalu  $0 < t < 40\text{ ms}$ .
  - Odrediti vremenske dijagrame struja prekidača na vremenskom intervalu  $0 < t < 40\text{ ms}$ .
  - Odrediti snagu koju inverter predaje otpornicima.



Slika 4.a



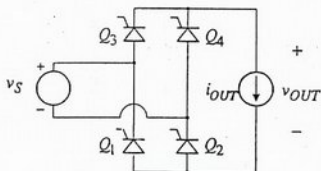
Slika 4.b



1. Na slici 1 je prikazan monofazni tiristoriski ispravljač. Tiristori  $Q_2, Q_3$  i  $Q_1, Q_4$  se uključuju sa međusobnim faznim pomerajem od  $180^\circ$ , pri čemu se ugao uključjenja  $\alpha$  meri od uzlaznog prolaska kroz nulu faznog napona do uključjenja tiristora  $Q_2$ . Poznato je:  $v_s = 220\sqrt{2}\sin(2\pi ft)$ ,

$f = 50\text{Hz}$ ,  $i_{OUT} = 10\text{A}$  i  $\alpha = \frac{\pi}{3}$ . Odrediti:

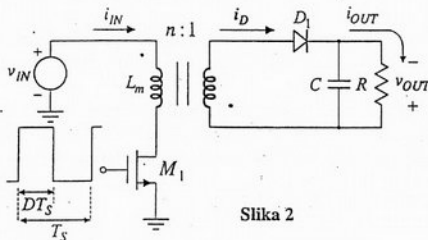
- srednju vrednost izlaznog napona,  $\bar{v}_{OUT}$ ,
- ukupna harmonijska izobličenja i
- faktor snage.



Slika 1

2. Na slici 2 je prikazan flyback konvertor kod koga je transformator savršen. Ulazni napon se menja u opsegu  $v_{IN} \in [250\text{V}, 350\text{V}]$ , izlazni napon se održava konstantnim pomoću kola povratne sprege (nije prikazano na slici),  $v_{OUT} = 5\text{V}$ ; koje istovremeno obezbeđuje da odnos impuls-perioda,  $D$ , ne pređe  $D_{\max} = 0,5$ , dok se potrošnja menja u opsegu  $i_{OUT} \in [0,1\text{A}, 1\text{A}]$ , a prekidačka učestanost je  $f_s = 50\text{kHz}$ .

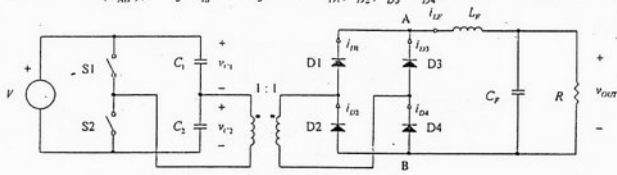
- Odrediti vrednost magnetizacione induktivnosti  $L_m$  i prenosni odnos transformatora  $n$ , tako da konvertor uvek radi u diskontinualnom režimu.
- Sa vrednostima za  $L_m$  i  $n$  odrediti i nacrtati vremenske dijagrame obeleženih struja i napona na prekidačima za slučaj  $v_{IN} = 250\text{V}$  i  $i_{OUT} = 1\text{A}$ .
- Pod uslovom iz tačke a) odrediti minimalnu vrednost kapacitivnosti  $C_{\min}$ , tako da talasnost izlaznog napona ne predje  $\Delta v_{OUT} = 50\text{mV}$ .



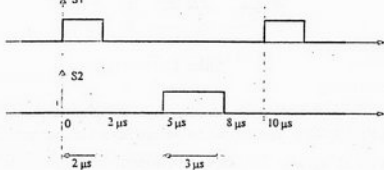
Slika 2

3. Na slici 3.a je prikazan half-bridge konvertor kod koga su prekidači kontrolisani asimetričnim signalima učestanosti  $f_N = 100\text{kHz}$  prikazanim na slici 3.b. Prenosni odnos transformatora je 1:1, a magnetizaciona induktivnost je jako velika, ali konačna. Smatra se da svi kondenzatori u kolu imaju dovoljno velike kapacitivnosti da se talasnost njihovog napona može zanemariti. Poznato je  $V = 100\text{V}$ ,  $L_F = 24\ \mu\text{H}$ ,  $R = 4.8\ \Omega$ . diode su identičnih karakteristika.

- Odrediti jednosmernu komponentu napona za svaki od kondenzatora i jednosmernu komponentu struje kalema  $L_F$ .
- Nacrtati vremenske dijagrame (obavezno izračunati i označiti karakteristične tačke) napona između tačaka A i B ( $v_{AB}$ ), struje  $i_{L_F}$  i struja dioda  $i_{D1}$ ,  $i_{D2}$ ,  $i_{D3}$  i  $i_{D4}$ .



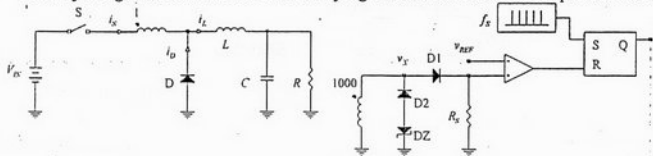
slika 3.a



slika 3.b

4. Na slici 4 je prikazan buck konvertor kojim se potrošaču  $R = 2\ \Omega$  programira struja  $i(R) = 10\text{A}$ . Prekidač i dioda u energetskom delu kola se mogu smatrati idealnim, induktivnost kalema je  $L = 300\ \mu\text{H}$ , ulazni napon je  $V_{IN} = 50\text{V}$ , kapacitivnost kondenzatora je dovoljno velika da se talasnost izlaznog napona može zanemariti, a može se zanemariti i napon na primaru strujnog transformatora. Konvertor je kontrolisan primenom tehnike ograničavanja vršne vrednosti struje prekidača. Prekidač se uključuje sa učestanošću od  $f_N = 20\text{kHz}$ . Kolo za merenje struje se sastoji iz strujnog transformatora prenosnog odnosa 1000:1, dioda sa naponom direktne polarizacije  $V_D = 0.7\text{V}$ , otpornika  $R_S = 2.5\text{k}\Omega$  i zener-diode sa probojnim naponom  $V_Z$ .

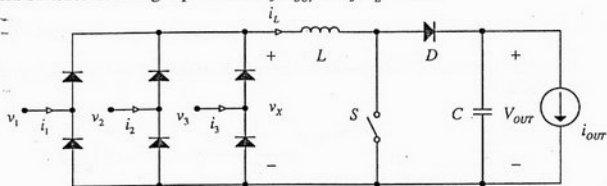
- Odrediti vrednost referentnog napona  $v_{REF}$  tako da srednja vrednost struje potrošača bude  $i(R) = 10\text{A}$ .
- Za slučaj a) nacrtati vremenske dijagrame struja  $i_S$ ,  $i_D$  i  $i_L$  i označiti karakteristične tačke.
- Odrediti minimalnu vrednost probojnog napona zener diode  $V_{Zmin}$  za koju kolo za merenje struje ispravno radi.
- Za probojni napon zener diode od  $V_Z = 10\text{V}$  nacrtati vremenski dijagram napona  $v_x$  ako je magnetizaciona induktivnost strujnog transformatora merena sa sekundarne strane  $L_m = 50\text{mH}$ .
- Kolika je magnetizaciona induktivnost strujnog transformatora merena sa primarne strane?



Slika 4.

1. Na slici 1 je prikazan trofazni ispravljač kod koga je oblikovanje ulazne struje i regulisanje izlaznog napona obezbeđeno primenom boost konvertora. Ulazni naponi su  $v_1 = 220\sqrt{2}V\cos(\omega t)$ ,  $v_2 = 220\sqrt{2}V\cos(\omega t - 120^\circ)$ ,  $v_3 = 220\sqrt{2}V\cos(\omega t - 240^\circ)$ , a srednja vrednost struje kalema se programira na  $\bar{i}_L = 10A$ . Talasnost struje kalema se može zanemariti. Smatrati da je učestanost prekidanja mnogo veća od mrežne učestanosti koja iznosi 50 Hz. Talasnost izlaznog napona se može zanemariti.

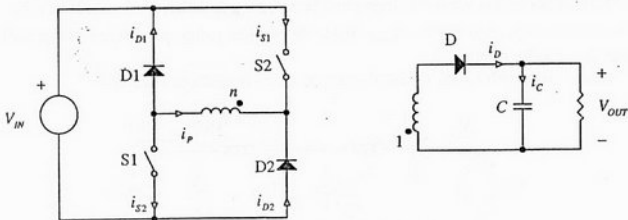
- Određiti vremenske dijagrame ulaznih struja  $i_1$ ,  $i_2$  i  $i_3$  i njihova ukupna harmonijska izobličenja.
- Određiti aktivnu i prividnu snagu na ulazu ispravljača. Određiti faktor snage.
- Određiti vremenski dijagram napona  $v_x$ .
- Određiti minimalnu vrednost izlaznog napona tako da konvertor ispravno radi.
- Za  $V_{OUT} = 650V$  odrediti zavisnost faktora ispunjenosti  $d(t)$  kontrolnog signala prekidača tokom jedne periode mrežnog napona.
- Određiti zavisnost izlaznog napona od struje  $i_{OUT}$  ako je  $\bar{i}_L = 10A$ .



Slika 1

2. Na slici 2 je prikazan flyback konvertor sa dva prekidača. Konvertor je predviđen da radi sa ulaznim naponom  $V_{IN} = 24V$  i da obezbedi izlazni napon  $V_{OUT} = 5V$  za potrošače čija je otpornost veća od  $5\Omega$ . Konvertor radi u diskontinualnom režimu tako što su prekidači uključeni dok struja primara transformatora ne dostigne 1 A, nakon čega se isključuju, a regulacija izlaznog napona se vrši promenom učestanosti uključivanja prekidača. Magnetizaciona induktivnost merena sa primarne strane transformatora iznosi  $L_m = 120\mu H$ , a prenosni odnos transformatora je  $n = 4.8$ . Kapacitivnost kondenzatora je  $C = 1000\mu F$ . Diode i prekidači se mogu smatrati idealnim.

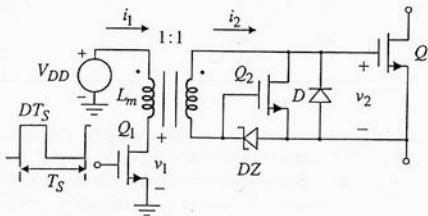
- Za  $R = 5\Omega$  odrediti učestanost prekidanja i nacrtati vremenske dijagrame označenih struja i napona. Na vremenskim dijagramima OZNAČITI karakteristične tačke u jedinicama mere V, A i  $\mu s$ . Neoznačeni dijagrami neće biti bodovani.
- Određiti zavisnost učestanosti prekidanja od otpornosti potrošača R.
- Određiti zavisnost amplitude talasnosti izlaznog napona od otpornosti potrošača R.



Slika 2

3. Na slici 3 je prikazano kolo za pobudu prekidačkog MOSFET-a  $Q$ . Transformator je savršen, dok su MOSFET-ovi  $Q_1$  i  $Q_2$  vrlo brzi tranzistori male snage.

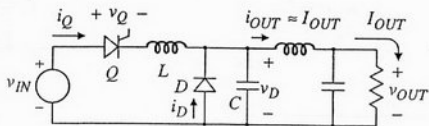
- Objasniti način rada kola za pobudu i skicirati vremenske dijagrame obeleženih napona i struja.
- Ako je  $V_{DD} = 12V$ , a  $V_Z = 15V$ , odrediti maksimalni odnos impuls-perioda,  $D_{max}$ , za koji kolo ispravno radi?
- Koristeći dato kolo za pobudu i impulsno širinski modulator sa  $f_s = 50kHz$ , nacrtati šemu galvanski neizolovanog prekidačkog regulatora napona  $v_{OUT} = 5V$  i  $i_{OUT} = 10A$ , ako je na ulazu nestabilisani jednosmerni napon,  $15V \leq v_{IN} \leq 20V$ . Za prekidače koristiti MOSFET-ove i diode, a sklopove čija se realizacija ne zahteva eksplicitno crtati kao blokove.
- Ako su otpornosti MOSFET prekidača, kada provodi,  $R_{ON} = 50m\Omega$  i kalem  $R_L = 10m\Omega$ , a pad napona na direktno polarisanoj diodi  $V_D = 0,5V$ , za konvertor iz tačke c), izvesti izraz za funkciju prenosa konvertora u kontinualnom režimu rada,  $v_{OUT} = v_{OUT}(v_{IN}, D, R_{ON}, R_L, R)$ ,  $R = \frac{v_{OUT}}{i_{OUT}}$ , a zatim odrediti u kojim granicama se menja odnos impuls-perioda  $D$ . Smatrati da su talasnosti struje kalem i napona na kondenzatoru zanemarljive u odnosu na odgovarajuće srednje vrednosti.



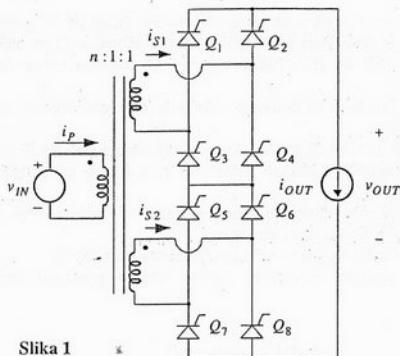
Slika 3

4. Na slici 4 je prikazan jedan DC-DC pretvarač u kome su  $L$  i  $C$  dodati da bi se obezbedila komutacija tiristora  $Q$ . Smatrati da su upotrebljene komponente idealnih karakteristika, da je struja potrošača  $I_{OUT}$  konstantna i da se tiristor  $Q$  uključuje u početnom trenutku posmatranja.

- Izračunati i nacrtati vremenske dijagrame napona i struja na prekidačima u toku jedne prekidačke periode  $T_S$ .
- Odrediti maksimalnu vrednost struje potrošača  $I_{OUTmax}$  za koju kolo ispravno radi.
- Pokazati da se izlazni napon  $v_{OUT}$  može da reguliše jedino promenom učestanosti pobudnih impulsa na gejt tiristora  $Q$ .
- Kolika je maksimalna prekidačka učestanost rada pretvarača sa slike 4?



Slika 4



Slika 1

1. Na slici 1 je prikazan monofazni tiristorski ispravljač. Tiristori  $Q_1, Q_2, Q_3, Q_4$  nezavisno se upravljaju od tiristora  $Q_5, Q_6, Q_7, Q_8$ . Tiristori  $Q_1, Q_4$ , odnosno  $Q_5, Q_8$  i  $Q_2, Q_3$ , odnosno  $Q_6, Q_7$ , se uključuju sa međusobnim faznim pomerajem od  $180^\circ$ , pri čemu se ugaio uključjenja  $\alpha_1$ , odnosno  $\alpha_2$ , meri od uzlaznog prolaska kroz nulu faznog napona do uključjenja tiristora  $Q_2, Q_3$ , odnosno  $Q_6, Q_7$ . Poznato je:  $v_{IN} = 220\sqrt{2}V\sin(2\pi ft)$ ,  $f = 50\text{Hz}$ ,  $n = 2$ ,  $i_{OUT} = 10\text{A}$ ,  $\alpha_1 = 0$  i  $\alpha_2 = \frac{\pi}{2}$ , a ako se posebno ne naglasi transformator

smatrati savršenim.

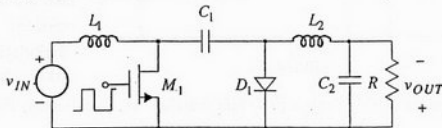
- Odrediti i nacrtati vremenske dijagrame označenih struja i napona.
- Odrediti srednju vrednost izlaznog napona,  $\bar{v}_{OUT}$ .
- Odrediti ukupna harmonijska izobličenja i faktor snage.
- Za koliko će se promeniti  $\bar{v}_{OUT}$ , ako je rasipna induktivnost merena sa sekundarne strane transformatora  $L_G = 1.4\text{mH}$ . Smatrati da je ulazna struja približno trapezoidnog oblika.

2. Na slici 2. prikazan je Čuk konvertor. Smatrati da su upotrebljeni prekidači (dioda i MOSFET) idealni, a prekidačka učestanost pobudnih impulsa konstantna,  $f_s = 1/T_s = \text{const}$ .

- Ako se zna da konvertor radi sa diskontinualnom strujom induktivnosti, DICM (Discontinuous-Inductor-Current Mode), odrediti i nacrtati vremenske dijagrame struje i napona, u ustaljenom stanju, prekidačkog tranzistora, diode, kalemova i kondenzatora. Smatrati da je  $C_1 = C_2 \rightarrow \infty$ .
- Pod uslovom iz tačke a) odrediti karakteristiku prenosa konvertora  $M = v_{OUT} / v_{IN}$  u funkciji parametara kola. Pod kojim uslovima konvertor radi u kontinualnom režimu rada?

Ako je  $v_{IN} = 10\text{V}$ ,  $v_{OUT} = 5\text{V}$ ,  $D_{\max} = 0.5$ ,  $f_s = 50\text{kHz}$ ,  $L_1 = L_2 = 100\mu\text{H}$  i  $C_1 = C_2 \rightarrow \infty$  odrediti:

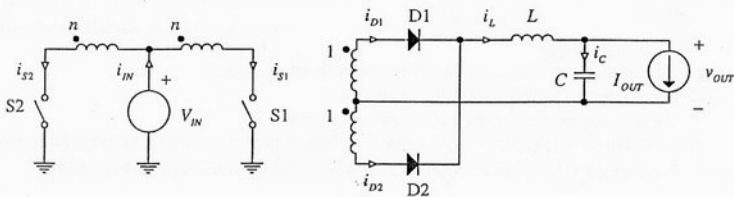
- maksimalnu struju potrošača, pri kojoj konvertor još uvek radi u diskontinualnom režimu rada i
- koeficijent korisnog dejstva konvertora pri struji iz tačke c), ako je  $R_{ON} = 10\text{m}\Omega$  i  $V_D = 0.5\text{V}$ , dok su ostale komponente idealnih karakteristika.



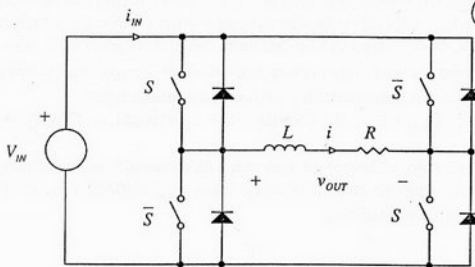
Slika 2

3. Na slici 3 je prikazan push-pull konvertor koji treba da obezbedi izlazni napon od 5V potrošaču čija struja se kreće od 0 do 5A. Učestanost prekidanja je 100kHz na prekidačima, a ulazni napon je nominalne vrednosti 24V, ali varira od 18V do 36V. Faktor ispunjenosti impulsa koji pobuđuju tranzistore je ograničen na  $D < 0.45$ .

- Odrediti prenosni odnos  $n$  transformatora tako da konvertor zadovolji date specifikacije ako se diode i tranzistori mogu smatrati idealnim.
- Odrediti prenosni odnos  $n$  transformatora tako da konvertor zadovolji date specifikacije ako je napon na direktno polarisanoj diodi u najgorem slučaju jednak 0.6V, a napon na uključenom prekidaču u najgorem slučaju jednak 1V.
- Odrediti induktivnost  $L$  tako da amplituda talasnosti njegove struje ne prelazi 10% njene maksimalne srednje vrednosti u slučaju idealnih dioda i tranzistora.
- Ponoviti tačku c) pod pretpostavkom o karakteristikama dioda i tranzistora iz tačke b).
- Ako se potrošač može predstaviti izvorom konstantne struje, odrediti prenosnu funkciju  $\underline{H}(s) = \hat{v}_{OUT}(s) / \hat{i}_L(s)$ .



Slika 3



Slika 4

4. Na slici 4 je prikazan inverter opterećen rednom vezom kalemata induktivnosti  $L = 500 \text{ mH}$  i otpornika otpornosti  $R = 100 \Omega$ . Ulazni napon je  $V_{IN} = 600 \text{ V}$ , a prekidači su kontrolisani signalom  $v_s$  sa faktorom ispunjenosti impulsa  $d(t) = 0.5 + 0.25 \sin(2\pi 50 \text{ Hz } t)$ , tako što su za  $v_s = 1$  prekidači označeni sa  $S$  uključeni a prekidači označeni sa  $\bar{S}$  isključeni, dok su za  $v_s = 0$

prekidači označeni sa  $S$  isključeni, a prekidači označeni sa  $\bar{S}$  uključeni. Prekidačka učestanost je  $f_s = 50 \text{ kHz}$ .

- Odrediti zavisnost srednje vrednosti izlaznog napona tokom periode prekidanja od  $d$ ,  $\overline{v_{OUT}}(d)$ .
- Odrediti talasni oblik izlaznog napona  $v_{OUT}(t)$  za gore specificirano  $d(t)$ .
- Odrediti talasni oblik struje potrošača  $i(t)$ .
- Odrediti talasni oblik srednje vrednosti ulazne struje tokom periode prekidanja,  $\overline{i_{IN}}$ , tokom jedne periode kontrolnog signala  $d(t)$  (20 ms).