

ZADATAK 01

Potrebno je projektovati DC/DC električni neizolovani pretvarač napona koji treba da radi u kontinualnom režimu za koji su dati ulazni podaci za projektovanje: (1) nominalni DC ulazni napon 220V $\pm 10\%$, (2) izlazni napon 72VDC, (3) izlazna snaga 0.5kW, (4) talasnost struje prigušnice $\leq 10\%$, (5) talasnost izlaznog napona $\leq 0.5\%$, (6) radna učestanost 50kHz. (a) Odrediti kritičnu induktivnost. (b) Dimenzionisati pasivne (L i C) elemente i prekidačke elemente (prema MAX naponu koji moraju izdržati i prema srednjoj vrednosti struje). Zanimariti padove napona i komutacione gubitke na prekidačkim elementima, kao i unutrašnje otpornosti pasivnih elemenata. Smatrati da je opterećenje na izlazu približno konstantno. Nacrtati električnu šemu pretvarača.

ZADATAK 02

Potrebno je projektovati DC/DC električni neizolovani pretvarač napona koji treba da radi u kontinualnom režimu, za koji su dati ulazni podaci za projektovanje: (1) nominalni DC ulazni napon 110V $\pm 10\%$, (2) izlazni napon 400VDC, (3) izlazna snaga 1kW, (4) talasnost struje prigušnice $\leq 20\%$, (5) talasnost izlaznog napona $\leq 0.4\%$, (6) radna učestanost 100kHz. (a) Odrediti kritičnu induktivnost. (b) Dimenzionisati prekidačke elemente prema MAX naponu koji moraju izdržati i prema srednjoj vrednosti struje. Zanimariti pad napona na prekidačkom tranzistoru i komutacione gubitke na prekidačkim elementima, kao i unutrašnje otpornosti pasivnih elemenata. Smatrati da je opterećenje na izlazu približno konstantno. Nacrtati električnu šemu pretvarača.

ZADATAK 03

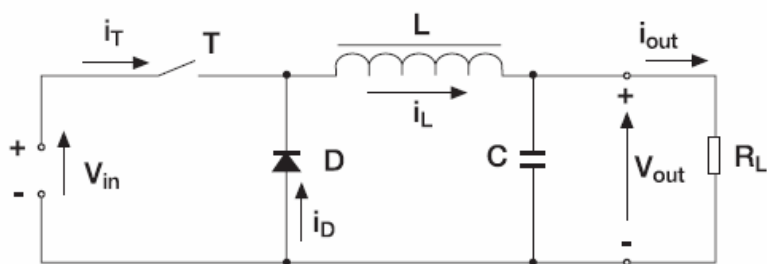
U pretvaraču koji je dat u ZADATKU 02 potrebno je LEM strujnim modulom meriti trenutnu vrednost struje prekidačkog tranzistora na osciloskopu.

Na raspolaganju su LEM strujni senzori prenosnog odnosa 1:5000, napona napajanja $\pm 15V$ DC, ali različitih propusnih opsega 1MHz, 10MHz, 20MHz, 50MHz i 100MHz i opsega struja 0- 5A, 10A, 25A, 50A, 100A, 150A.

Povraćeno naelektrisanje diode kod isključenja je $Q_{rr}=500nC$. Vreme oporavka diode je $t_{rr}=40ns$. Odabrati potreban LEM senzor, nacrtati šemu merenja struje i dimenzionisati merni otpornik na izlazu LEM modula tako da se na njemu obezbedi naponski signal 0-5VDC koji se vodi na ulaz osciloskopa radi merenja. Vršnu vrednost struje diode (tzv. "strujni pik") računati prema formuli $I_{RM} \approx 2Q_{rr}/t_{rr}$.

ZADATAK 01

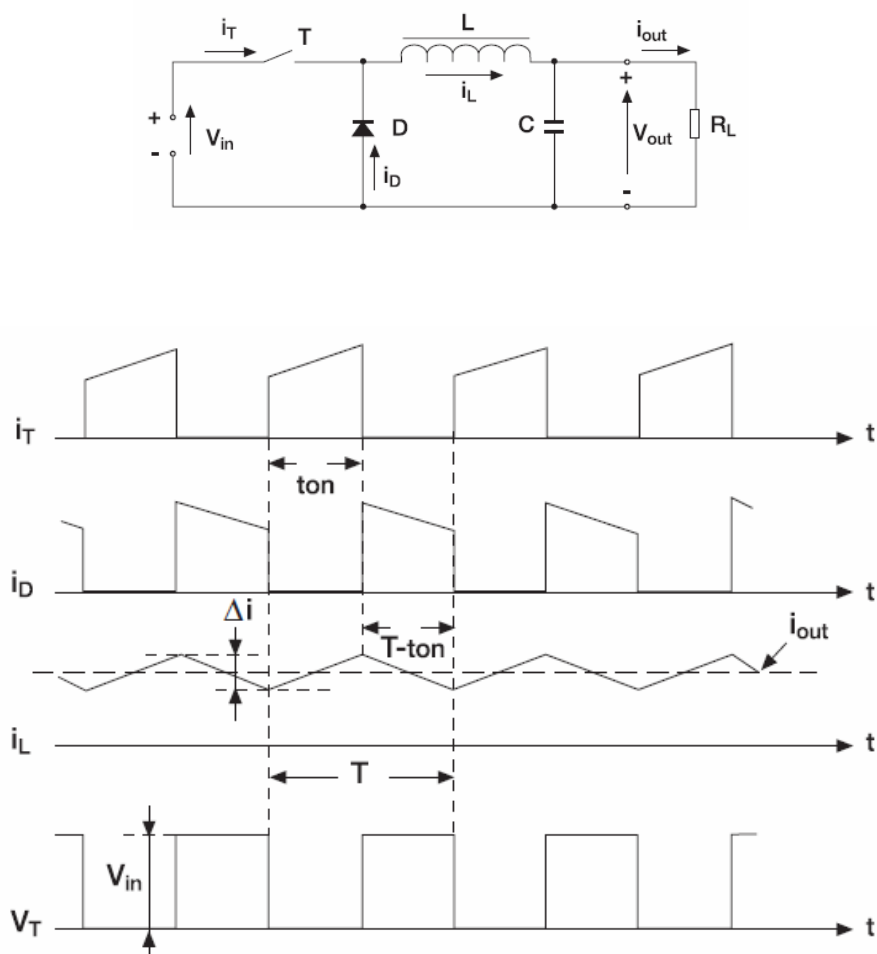
OSNOVNA TOPOLOGIJA DC/DC PRETVARAČA sa usvojenim referentnim smerovima za struje i napone



Ulazni podaci:

- 1) Opseg promene ulaznog napona $220V \cdot 0.9 \leq V_{in} \leq 220 \cdot 1.1$, odnosno $198V \leq V_{in} \leq 242V$
- 2) Izlazni napona $V_{out}=72V=const$
- 3) Talasnost struje prigušnice $\Delta i_L\% = (\Delta i_L / I_{LSR}) \cdot 100 \leq 10\%$, odnosno $(\Delta i_L / I_{LSR}) \leq 0.1$
- 4) Učestanost prekidanja (radna učestanost prekidača T) je $f_{sw}=50kHz$
- 5) Talasnost izlaznog napona $\Delta V_{out}\% = (\Delta V_{out} / V_{out}) \cdot 100 \leq 0.5\%$, odnosno, $(\Delta V_{out} / V_{out}) \leq 0.005$
- 6) Izlazna snaga $P_{out}=500W$

Karakteristični talasni oblici za dati pretvarač koji radi u kontinualnom režimu su dati na slici 1.



Slika1-Topologija i karakteristični talasni oblici za spuštač napona u kontinualanom režimu

Koeficijent radnog režima D (tzv. „duty-cycle“) prekidača T je dat relacijom:

$$D = t_{on}/T$$

Perioda prekidanja $T = 1/f_{sw} = 1/50000 = 20\mu s$

Izlazni napon pretvarača je dat relacijom:

$$V_{out} = D \cdot V_{in} = \text{const} = 72V_{dc}$$

Obzirom da se ulazni napon menja u opsegu $198V \leq V_{in} \leq 242V$, odredićemo opseg promene veličine koeficijenta D:

$$D_{min} \cdot V_{inmax} = 78V \Rightarrow D_{min} = 72V/V_{inmax} = 72V/242V = 0.2975$$

$$D_{max} \cdot V_{inmin} = 48V \Rightarrow D_{max} = 72V/V_{inmin} = 72V/198V = 0.3636$$

Dakle opseg promene koeficijenta D je :

$$D_{min} \leq D \leq D_{max}$$

$$0.2975 \leq D \leq 0.3636$$

Opseg promene vremena t_{on} uključenosti prekidača (na šemi je to prekidač T) je:

$$t_{onmin} \leq t_{on} \leq t_{onmax}$$

$$0.2975 \cdot T \leq t_{on} \leq 0.3636 \cdot T$$

$$5.95 \mu s \leq t_{on} \leq 7.272 \mu s$$

Srednja vrednost struje opterećenja se dobija iz relacije:

$$I_{out_sr} = P_{out}/V_{out} = 500W/72V = 6.94A$$

Ekvivalentna otpornost opterećenja je:

$$R_{L_max} = V_{out}/I_{out_sr} = 72V/6.94A = 10.37\Omega$$

DIMENZIONISANJE PRIGUŠNICE

Kritična vrednost induktivnosti se dobija iz relacije (videti predavanja):

$$L_c = [(1 - D_{max}) \cdot R_{L_max}] / 2f_{sw}$$

$$L_c = [(1 - 0.3636) \cdot 10.37] / (2 \cdot 50000) = 66\mu H$$

$$\underline{L_c \approx 66\mu H}$$

Konačno izabrana vrednost prigušnice L^* mora biti veća (odnosno mnogo veća) od L_c , odnosno:

$$L^* \gg L_c$$

Srednja vrednost struje prigušnice L je jednaka srednjoj vrednosti struje opterećenja (obzirom da je srednja vrednost struje kondenzatora C jednaka nuli):

$$I_{LSR} = I_{out_sr} = 6.94A$$

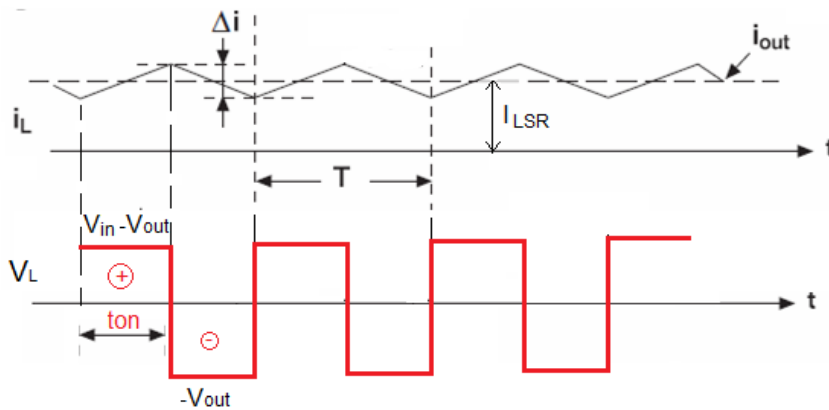
Zahtevana stvarna talasnost struje prigušnice je:

$$(\Delta I_L / I_{LSR}) \leq 0.1$$

Odnosno,

$$\Delta i_L \leq 0.1 \cdot I_{LSR} = 0.1 \cdot 6.94A = 0.694A$$

Talasni oblici struje i napona prigušnice L su dati na slici 2:



Slika 2-Talasni oblici struje i napona prigušnice L

Dimenzionisanje prigušnice se bazira na relaciji koja važi za interval t_{on} :

$$L \cdot \Delta i_L = (V_{in} - V_{out}) \cdot t_{on}$$

Obzirom da je $\Delta i_L \leq 0.1 \cdot I_{LSR} = 0.1 \cdot 6.94A = 0.694A$, onda uz korišćenje prethodne jednačine možemo napisati:

$$\Delta i_L = [(V_{in} - V_{out}) \cdot t_{on} / L] \leq 1.388A$$

Oдавde dobijamo uslov za izračunavanje prigušnice L:

$$L \geq (1 / \Delta i_L) \cdot (V_{in} - V_{out}) \cdot t_{on}$$

$$L \geq (1 / 0.694) \cdot (V_{in} - V_{out}) \cdot t_{on}$$

Obzirom da se ulazni napon menja u granicama $198V \leq V_{in} \leq 242V$ i da se vreme t_{on} uključenosti prekidača T menja u granicama $5.95 \mu s \leq t_{on} \leq 7.272 \mu s$, za proračun prigušnice L ćemo imati dve vrednosti:

$$L_1 \geq (1 / 0.694) \cdot (V_{inmin} - V_{out}) \cdot t_{onmax}$$

$$L_1 \geq (1 / 0.694) \cdot (198V - 72V) \cdot 7.272 \mu s$$

$$L_1 \geq (1 / 0.694) \cdot (198V - 72V) \cdot 7.272 \mu s = 1320.27 \mu H$$

$$L_1 \geq 1320.27 \mu H$$

$$L_2 \geq (1 / 0.694) \cdot (V_{inmax} - V_{out}) \cdot t_{onmin}$$

$$L_2 \geq (1 / 0.694A) \cdot (242V - 72V) \cdot 5.95 \mu s$$

$$L_2 \geq (1 / 0.694A) \cdot (242 - 72V) \cdot 5.95 \mu s = 1457.50 \mu H$$

$$L_2 \geq 1457.50 \mu H$$

Da bi bio zadovoljen uslov talasnosti struje prigušnice u svim režimima promene ulaznog napona, uzima se da je izabrana vrednost prigušnice maksimalna vrednost od prethodno dve izračunate:

$$L \geq \max (L_1, L_2) = 1457.50 \mu H$$

Usvaja se standardna vrednost prigušnice $L^* = 1500 \mu H$. Za ovu vrednost prigušnice talasnost struje će biti manja od zahtevane vrednosti $0.694A$.

$$\Delta i_L = [(V_{in} - V_{out}) \cdot t_{on}] / L^*$$

$$\Delta i_{L1} = [(V_{inmax} - V_{out}) \cdot t_{onmin}] / L^*$$

$$\Delta i_{L1} = [(242V - 72V) \cdot 5.95\mu s] / 1500\mu H = 0.67A < 0.694A$$

$$\Delta i_{L2} = [(V_{inmin} - V_{out}) \cdot t_{onmax}] / L^*$$

$$\Delta i_{L2} = [(198V - 72V) \cdot 7.272\mu s] / 1500\mu H = 0.61A < 0.694A$$

$$\Delta i_{Lmax} = \max(\Delta i_{L1}, \Delta i_{L2}) = 0.67A$$

Maksimalna vrednost struje prigušnice u najnepovoljnijem slučaju je jednaka:

$$I_{Lmax} = I_{LSR} + (\Delta i_{Lmax} / 2) = 6.94 + (0.67A / 2) = 7.275 \rightarrow \text{usvaja se } 8A$$

Maksimalna energija nagomilana u prigušnici:

$$W_L = 0.5 \cdot L^* \cdot I^2 = 0.5 \cdot 1500\mu \cdot 8^2 = 0.048J$$

Usvaja se standardna prigušnica sledećih karakteristika:

$$\underline{L^* = 1500 \mu H / 10A}$$

$$\underline{W_L = 0.05J}$$

DIMENSIONISANJE IZLAZNOG KONDENZATORA

Izlazni kondenzator se dimenzioniše prema relaciji (videti predavanja):

$$C \geq (1 - D_{min}) / (8L^* f^2 \cdot \Delta V_{out} / V_{out})$$

$$(\Delta V_{out} / V_{out}) \leq 0.004 \text{ (prema uslovu zadatka)}$$

$$C \geq (1 - 0.2975) / (8 \cdot 1500\mu \cdot 50000^2 \cdot 0.005)$$

$$C \geq 0.7025 / 150000 = 4.68\mu F$$

Usvaja se prve veća standardna vrednost od 10 μ F. Obzirom da je izlazni napon 72Vdc, potrebno je usvojiti kondenzator bar za 100Vdc, a najbolje za 150Vdc. U ovom slučaju talasnost izlaznog napona će biti manja od 0.5%. Maksimalna energija nagomilana u kondenzatoru je:

$$W_C = 0.5 \cdot C^* \cdot V^2 = 0.5 \cdot 10\mu \cdot 72^2 = 0.025J$$

Konačan izbor kondenzatora je :

$$\underline{C^* = 10\mu F / 150Vdc}$$

$$\underline{W_C = 0.03J}$$

Rezonantna učestanost „LC“ filtra DC/DC pretvarača je:

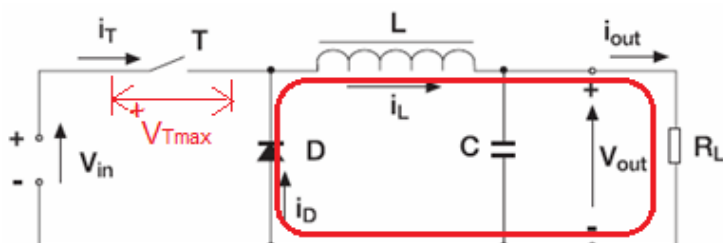
$$2\pi f_{rez} = 1 / (L^* \cdot C^*)^{1/2}$$

$$f_{rez} = 1 / (2\pi (L^* \cdot C^*)^{1/2}) = 1 / (6.28(1500\mu H \cdot 10\mu F)^{1/2}) = 1300Hz \ll 50kHz$$

LC filter je dakle dobro projektovan i nema opasnosti da na radnoj učestanosti uđe u rezonantni režim (koji je inače veoma nepovoljan).

DIMENZIONISANJE PREKIDAČA T

Maksimalni napon na prekidaču T se ima u intervalu $t_{\text{off}} = T - t_{\text{on}}$, odnosno kada je provodna dioda D (kao što pokazuje slika 3).



Slika 3- Ekvivalentna šema u intervalu t_{off}

U ovom slučaju maksimalni napon na neprovodnom prekidaču T je jednak:

$$V_{T\text{max}} = V_{\text{inmax}} + V_D \approx V_{\text{inmax}} = 242\text{V} \rightarrow \text{usvaja se uz određenu sigurnost napon } 300\text{V}$$

Srednja vrednost struje prekidačkog elementa T je jednaka:

$$I_{T\text{sr}} = D_{\text{max}} \cdot I_{\text{LSR}} = 0.3636 \cdot 6.94 = 2.52\text{A}$$

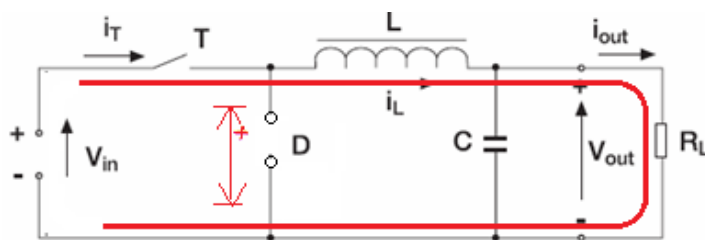
Maksimalna trenutna vrednost struje prekidačkog elementa $I_{T\text{max}} = I_{L\text{max}} = 7.275\text{A}$

Izbor prekidačkog elementa T je:

MOSFET za maksimalnu struju od 10A i podnosivi napon 300Vdc (ili 400Vdc)

DIMENZIONISANJE DIODE D

Maksimalni napon na diodi D se ima u intervalu t_{on} , odnosno kada je provodan prekidač T (kao što pokazuje slika 4).



Slika 4- Ekvivalentna šema u intervalu t_{on}

U ovom slučaju maksimalni inverzni napon na neprovodnoj diodi D je jednak:

$$V_{D\text{max}} = V_{\text{inmax}} - V_{T\text{on}} \approx V_{\text{inmax}} = 242\text{V} \rightarrow \text{usvaja se uz određenu sigurnost napon } 300\text{V}$$

Maksimalna srednja vrednost struje diode D je jednaka:

$$I_{D\text{sr}} = (1 - D_{\text{min}}) \cdot I_{\text{LSR}} = (1 - 0.2975) \cdot 6.94 = 4.875\text{A}$$

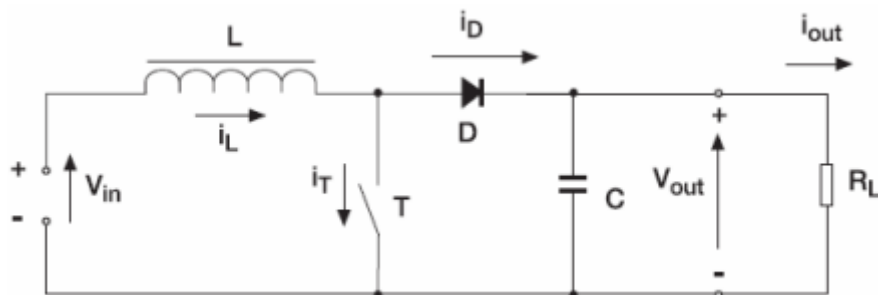
Maksimalna trenutna vrednost struje diode je $I_{D\text{max}} = I_{L\text{max}} = 7.275\text{A}$

Izbor prekidačke diode D je:

ultra brza dioda za maksimalnu struju od 10A i podnosivi napon 300Vdc (ili 400Vdc)

ZADATAK 02

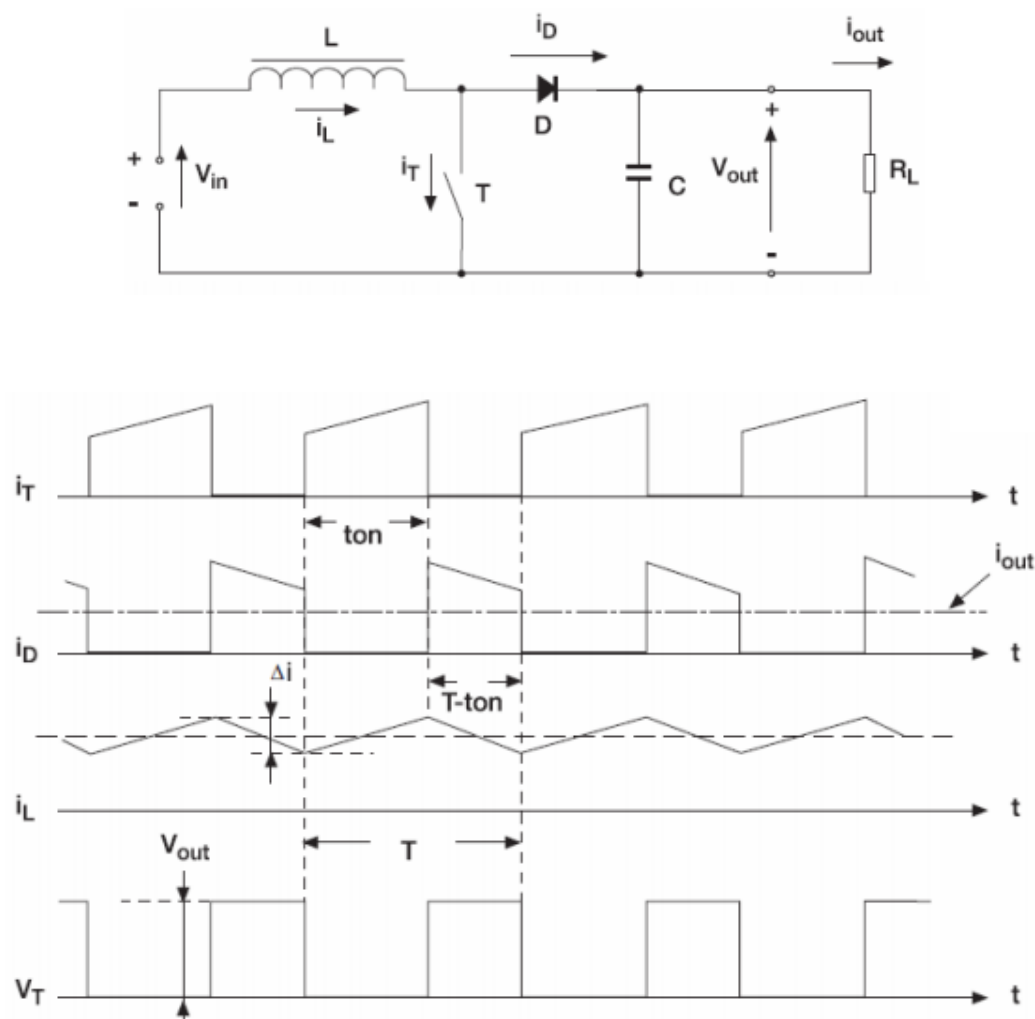
OSNOVNA TOPOLOGIJA DC/DC PRETVARAČA sa usvojenim referentnim smerovima za struje i napone



Ulazni podaci:

- 1) Opseg promene ulaznog napona $110V \cdot 0.9 \leq V_{in} \leq 110 \cdot 1.1$, odnosno $99V \leq V_{in} \leq 121V$
- 2) Izlazni napona $V_{out}=400V_{dc}=const$
- 3) Talasnost struje prigušnice $\Delta i_L\% = (\Delta i_L / I_{LSR}) \cdot 100 \leq 20\%$, odnosno $(\Delta i_L / I_{LSR}) \leq 0.2$
- 4) Učestanost prekidanja (radna učestanost prekidača T) je $f_{sw}=100kHz$
- 5) Talasnost izlaznog napona $\Delta V_{out}\% = (\Delta V_{out} / V_{out}) \cdot 100 \leq 0.4\%$, odnosno, $(\Delta V_{out} / V_{out}) \leq 0.004$
- 6) Izlazna snaga $P_{out}=1000W$

Karakteristični talasni oblici za dati pretvarač koji radi u kontinualnom režimu su dati na slici 5.



Slika 5-Topologija i karakteristični talasni oblici za podizač napona u kontinualnom režimu

Koeficijent radnog režima D (tzv. „duty-cycle“) prekidača T je dat relacijom:

$$D = t_{on} / T$$

Perioda prekidanja $T = 1 / f_{sw} = 1 / 100000 = 10 \mu s$

Izlazni napon pretvarača je dat relacijom:

$$V_{out} = V_{in} / (1 - D) = \text{const} = 400 \text{Vdc}$$

Obzirom da se ulazni napon menja u opsegu $99 \text{V} \leq V_{in} \leq 121 \text{V}$, odredićemo opseg promene veličine koeficijenta D:

$$(1 - D) = V_{in} / V_{out}$$

$$D = 1 - (V_{in} / V_{out}); V_{out} = 400 \text{Vdc} = \text{const}$$

$$D_{\max} = 1 - (V_{\min} / V_{out})$$

$$D_{\max} = 1 - (99 \text{V} / 400 \text{V}) = 0.7525$$

$$D_{\min} = 1 - (V_{\max} / V_{out})$$

$$D_{\min} = 1 - (121 \text{V} / 400 \text{V}) = 0.6975$$

Dakle opseg promene koeficijenta D je :

$$D_{\min} \leq D \leq D_{\max}$$

$$0.6975 \leq D \leq 0.7525$$

Opseg promene vremena t_{on} uključenosti prekidača (na šemi je to prekidač T) je:

$$t_{on\min} \leq t_{on} \leq t_{on\max}$$

$$0.6975 \cdot T \leq t_{on} \leq 0.7525 \cdot T$$

$$6.975 \mu s \leq t_{on} \leq 7.525 \mu s$$

Srednja vrednost struje opterećenja se dobija iz relacije:

$$I_{out_sr} = P_{out} / V_{out} = 1000 \text{W} / 400 \text{V} = 2.5 \text{A}$$

Ekvivalentna otpornost opterećenja je:

$$R_{L_max} = V_{out} / I_{out_sr} = 400 \text{V} / 2.5 \text{A} = 160 \Omega$$

Srednja vrednost ulazne struje, obzirom da su gubitci u pretvaraču zanemareni se dobija iz relacija:

$$P_{in} \approx P_{out}$$

$$V_{in\min} \approx V_{out\min}$$

$$I_{in} = I_{Lsr} \approx V_{out\min} / V_{in\min}$$

$$I_{in\max} = I_{Lsr_max} \approx V_{out\min} / V_{in\min}$$

$$I_{in\max} = I_{Lsr_max} \approx 400 \text{V} \cdot 2.5 / 99 = 10.10 \text{A}$$

$$I_{in\min} = I_{Lsr_min} \approx 400 \text{V} \cdot 2.5 / 121 = 8.26 \text{A}$$

DIMENZIONISANJE PRIGUŠNICE

Kritična vrednost induktivnosti se dobija iz uslova (videti predavanja):

$$I_{in} > (V_{in} \cdot D) / (2 \cdot f_{sw} \cdot L)$$

$$L > L_c = (V_{in} \cdot D) / (2 \cdot f_{sw} \cdot I_{in})$$

$$L_{c1} = (V_{inmin} \cdot D_{max}) / (2 \cdot f_{sw} \cdot I_{inmax})$$

$$L_{c1} = (99 \cdot 0.7525) / (2 \cdot 100000 \cdot 10.10) = 36.88 \mu H$$

$$L_{c2} = (V_{inmax} \cdot D_{min}) / (2 \cdot f_{sw} \cdot I_{inmin})$$

$$L_{c2} = (121 \cdot 0.6975) / (2 \cdot 100000 \cdot 8.26) = 50.90 \mu H$$

$$L_c = \min(L_{c1}, L_{c2}) = 36.88 \mu H$$

Konačno izabrana vrednost prigušnice L^* mora biti veća (odnosno mnogo veća) od L_c , odnosno:

$$L^* \gg L_c$$

Maksimalna srednja vrednost struje prigušnice L je jednaka:

$$I_{Lsr_max} = I_{inmax} = 10.10 A$$

Minimalna srednja vrednost struje prigušnice L je jednaka:

$$I_{Lsr_min} = I_{inmin} = 8.26 A$$

Zahtevana stvarna talasnost struje prigušnice je:

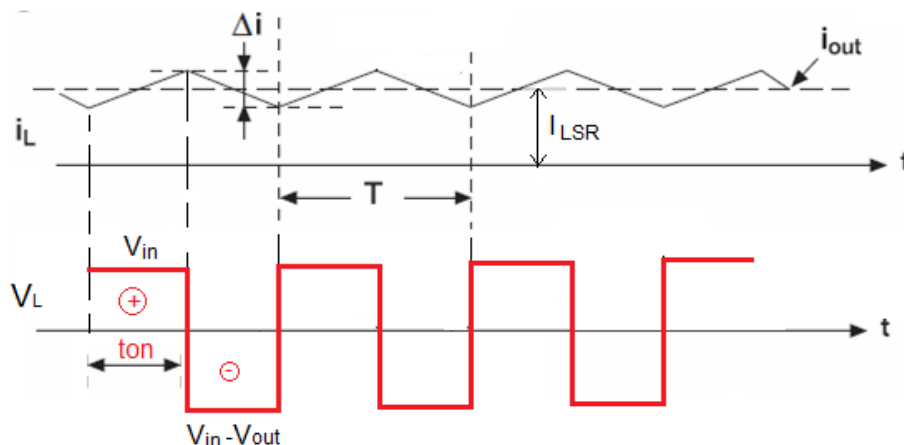
$$(\Delta i_L / I_{Lsr}) \leq 0.2$$

Odnosno,

$$\Delta i_{Lmax} \leq 0.2 \cdot I_{Lsr_max} = 0.2 \cdot 10.10 = 2.020 A$$

$$\Delta i_{Lmin} \leq 0.2 \cdot I_{Lsr_min} = 0.2 \cdot 8.26 = 1.652 A$$

Talasni oblici struje i napona prigušnice L su dati na slici 6:



Slika 6-Talasni oblici struje i napona prigušnice L

Dimenzionisanje prigušnice se bazira na relaciji koja važi za interval t_{on} :

$$L \cdot \Delta i_L = V_{in} \cdot t_{on}$$

Obzirom da je $\Delta i_L \leq 0.2 \cdot I_{LSR} = 0.2 \cdot 10.10 = 2.020A$, onda uz korišćenje prethodne jednačine možemo napisati:

$$\Delta i_{Lmax} = (V_{in} \cdot t_{on}) / L_1 \leq 2.020A$$

Odavde dobijamo uslov za izračunavanje prigušnice L_1 pri minimalnom ulaznom naponu:

$$L_1 \geq (1 / \Delta i_L) \cdot (V_{inmin} \cdot t_{onmax})$$

$$L_1 \geq (1 / 2.020) \cdot V_{inmin} \cdot t_{onmax}$$

$$L_1 \geq (1 / 2.020) \cdot 99 \cdot 7.525\mu = 368.80\mu H$$

Uslov za izračunavanje prigušnice L_2 pri maksimalnom ulaznom naponu:

$$L_2 \geq (1 / \Delta i_L) \cdot (V_{inmax} \cdot t_{onmin})$$

$$L_2 \geq (1 / 1.652) \cdot V_{inmax} \cdot t_{onmin}$$

$$L_2 \geq (1 / 1.652) \cdot 121 \cdot 6.975\mu = 510.88\mu H$$

Da bi bio zadovoljen uslov talasnosti struje prigušnice u svim režimima promene ulaznog napona, uzima se da je izabrana vrednost prigušnice

$$L \geq \max(L_1, L_2) = 510.88\mu H$$

Usvaja se standardna vrednost prigušnice $L^* = 550\mu H$. Za ovu vrednost prigušnice talasnost struje će biti manja od zahtevane vrednosti 2.02A odnosno od 1.652A.

$$\Delta i_L = [V_{in} \cdot t_{on}] / L^*$$

$$\Delta i_{L1} = [V_{inmin} \cdot t_{onmax}] / L^*$$

$$\Delta i_{L1} = [99 \cdot 7.525\mu s] / 550\mu H = 1.35A < 2.02A$$

$$\Delta i_{L2} = [V_{inmax} \cdot t_{onmin}] / L^*$$

$$\Delta i_{L2} = (121 \cdot 6.975\mu s) / 550\mu H = 1.5345A < 1.652A$$

$$\Delta i_{Lmax} = \max(\Delta i_{L1}, \Delta i_{L2}) = 1.5345A$$

Maksimalna vrednost struje prigušnice u najnepovoljnijem slučaju je jednaka:

$$I_{Lmax} = I_{LSR} + (\Delta i_{Lmax} / 2) = 10.10A + (1.5345A / 2) = 10.86A \rightarrow \text{usvaja se } 11A$$

Maksimalna energija nagomilana u prigušnici:

$$W_L = 0.5 \cdot L^* \cdot I^2 = 0.5 \cdot 550\mu \cdot 11^2 = 0.033J$$

Usvaja se standardna prigušnica sledećih karakteristika:

$$\underline{L^* = 550 \mu H / 15A}$$

$$\underline{W_L = 0.06J}$$

DIMENSIONISANJE IZLAZNOG KONDENZATORA

Izlazni kondenzator se dimensionira prema relaciji (videti predavanja):

$$C \geq I_{out} \cdot t_{onmax} / (V_{out_nom} \cdot (\Delta V_{out}/V_{out}))$$

$$(\Delta V_{out}/V_{out}) \leq 0.004 \text{ (prema uslovu zadatka)}$$

$$V_{out_nom} = 400V_{dc}$$

$$C \geq 2.5A \cdot 7.525\mu s / (400 \cdot 0.004) = 11.75\mu F$$

Usvaja se prve veća standardna vrednost od $22\mu F$. Obzirom da je izlazni napon $400V_{dc}$, potrebno je usvojiti kondenzator bar za $600V_{dc}$. U ovom slučaju talasnost izlaznog napona će biti manja od 0.4%.

Maksimalna energija nagomilana u kondenzatoru je:

$$W_c = 0.5 \cdot C \cdot V^2 = 0.5 \cdot 22\mu \cdot 400^2 = 1.76J$$

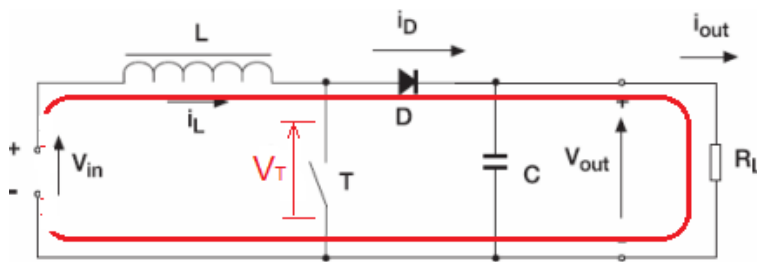
Konačan izbor kondenzatora je :

$$\underline{C^* = 22\mu F / 600V_{dc}}$$

$$\underline{W_c = 4J}$$

DIMENSIONISANJE PREKIDAČA T

Maksimalni napon na prekidaču T se ima u intervalu $t_{off} = T - t_{on}$, odnosno kada je provodna dioda D (kao što pokazuje slika 7).



Slika 7- Ekvivalentna šema u intervalu t_{off}

U ovom slučaju maksimalni napon na neprovodnom prekidaču T je jednak:

$$V_{Tmax} = V_{out} + V_D \approx V_{out} = 400V \rightarrow \text{usvaja se uz određenu sigurnost napon } 600V$$

Srednja vrednost struje prekidačkog elementa T je jednaka:

$$I_{Tsr} = D_{max} \cdot I_{Lmax} = 0.7525 \cdot 10.10 = 7.6A$$

Maksimalna trenutna vrednost struje prekidačkog elementa $I_{Tmax} = I_{Lmax} = 10.48A$

Izbor prekidačkog elementa T je:

MOSFET za maksimalnu struju od 15A i podnosivi napon 600V

DIMENSIONISANJE DIODE D

Maksimalni napon na diodi D se ima u intervalu t_{on} , odnosno kada je provodan prekidač T (kao što pokazuje slika 8).

Prikazani talasni oblici uključuju strujne pikove u trenucima komutacije diode D i prekidača T. Ovi strujni pikovi su posledica inverznog oporavka diode (evakuacija manjinskih nosilaca sa P-N spoja koji je prethodno bio provodan). Inverzni oporavak traje veoma kratko u intervalu vremena $t_{rr}=40\text{ns}$. Struja inverznog oporavka I_{RM} se superponira sa minimalnom vrednošću struje I_{min} i ustvari je maksimalna impulsna struja jednaka $I_{RM} + I_{min}$.

Obzirom da je najkritičniji slučaj kada je struja prigušnice maksimalna odnosno jednaka $I_{Lsr_max}=10.10\text{A}$ (tada I_{min} i I_{max} imaju najveće vrednosti) možemo izračunati maksimalnu impulsnu struju.

$$I_{min} = I_{Lsr_max} - (\Delta I_{Lmax}/2) = 10.10 - (1.5345\text{A}/2) = 9.33\text{A}$$

Struja inverznog oporavka diode je:

$$I_{RM} \approx 2Q_{rr}/t_{rr}$$

$$I_{RM} \approx 2 \cdot 500\text{nC}/40\text{ns}$$

$$I_{RM} \approx 25\text{A}$$

Stoga je maksimalna impulsna struja prekidača T jednaka:

$$I_{Tpulse} = I_{RM} + I_{min} = 25\text{A} + 9.33\text{A} = 34.33\text{A} \text{ usvajamo} \rightarrow I_{Tpulse} = 35\text{A}$$

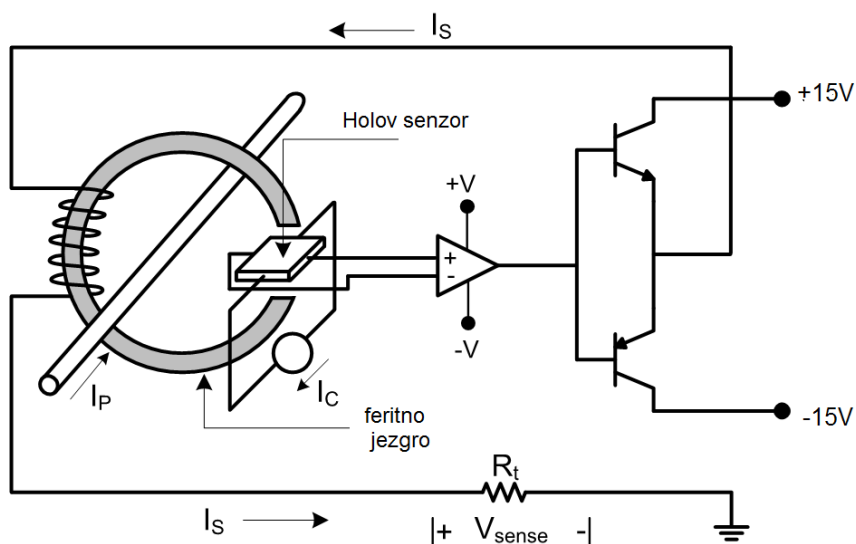
Ovu struju treba meriti LEM strujnim senzorom i skalirati na naponski nivo 0-5Vdc.

U cilju merenja odabran je ponuđeni LEM strijni senzor opsega struje 0-50A.

Obzirom da je vreme inverznog oporavka $t_{rr}=40\text{ns}$ minimalna vrednost frekventnog propusnog opsega LEM modula treba da bude $1/t_{rr}=25\text{MHz}$. Ova vrednost je minimalna i treba ići na vrednost propusnog opsega koja je 2-3 puta (za red veličine) veća. Stoga je u ovom slučaju moguć izbor LEM modula sa propusnim opsegom 50MHz ili 100MHz.

Konačno izabrani LEM modul je za strujni opseg 0-50A i propusnog opsega 100MHz.

Električna šema merenja je data na slici 10.



Slika 10- Električna šema merenja struje sa LEM senzorom

U našem slučaju stvarna struja primara $I_P = I_{Tpulse} = 35\text{A}$, ali obzirom da smo usvojili strujni senzor za 50A, treba proračun izvesti za ovu struju. Struja sekundara $I_S = I_P/N$, gde je $N=5000$, obzirom da je prenosni odnos LEM senzora 1:5000.

Obzirom da smo odabrali LEM modul za strujni opseg 0-50A, struja sekundara je $I_s = I_p/N = 50A/5000 = 10mA$. Ova struja na mernom otporniku R_t treba da ostvari napon od 5V:

$$R_t \cdot I_s = V_{sense} = 5V$$

Iz ove jednačine se dobija potrebna vrednost mernog otpornika R_t :

$$R_t = V_{sense}/I_s = 5V/10mA = 500\Omega$$

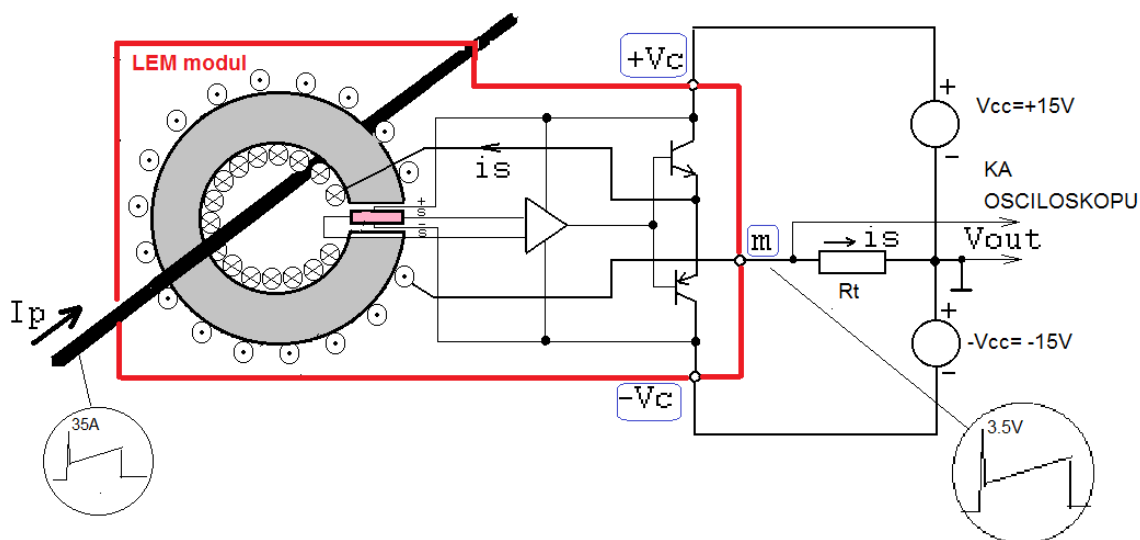
Dispacija na ovom otporniku je $P_d = 500\Omega \cdot (10mA)^2 = 0.05W$, znači usvajamo merni otpornik:

$$R_t = 500\Omega/0.25W, \text{ tačnosti } 0.1\%$$

Struja od 50A će na ovom otporniku dati napon 5V, a stvarni strujni pik koji se ima u struji prekidača T i koji iznosi $I_{Tpulse} = 35A$ će na ovom mernom otporniku dati vrednost napona:

$$V_{sense1} = R_t \cdot I_{s1} = 500\Omega \cdot (35A/5000) = 500\Omega \cdot 7mA = 3.5V_{dc}$$

Šema povezivanja LEM modula sa naznačenim priključnim tačkama „+Vc“, „-Vc“ i „m“ (merni priključak) je data na slici 11.



Slika 11- Praktična šema povezivanja LEM modula

Treba napomenuti da se merni otpornik postavlja između priključka LEM modula „m“ i mase bipolarnog napajanja +Vcc/-Vcc, kao što je prikazano na slici 11. Naponski signal V_{out} se vodi ka osciloskopu.

U Beogradu

21.01.2021

Predmetni profesor: Dr Željko Despotović, dipl.el.inž.