

1. Zadatak

Potrebno je projektovati AC/DC električni neizolovani pretvarač napona za koji su dati ulazni podaci za projektovanje: (1) nominalni ulazni napon $3 \times 230V \pm 10\%$, 50Hz, (2) talasnost napona na ispravljaču $\leq 2\%$ (2) izlazni napon 110VDC, (3) izlazna snaga 1.1kW, (4) talasnost struje prigušnice $\leq 10\%$, (5) talasnost izlaznog DC napona $\leq 0.1\%$, (6) radna učestanost pretvarača 50kHz.

U zadatku je potrebno:

(a) Nacrtati kompletnu električnu šemu energetskog pretvarača, (b) dimenzionisati ispravljački kondenzator i otpornik za ograničenje struje punjenja kondenzatora, (c) Dimenzionisati pasivne elemente (L i C), (d) dimenzionisati visoko-frekventne prekidačke elemente (prema MAX naponu i MAX struji). Zanimariti padove napona i komutacione gubitke na prekidačkim elementima, kao i unutrašnje otpornosti pasivnih elemenata. Smatrati da je opterećenje na izlazu približno konstantno. Pretpostaviti kontinualni režim u DC/DC stepenu.

2. Zadatak

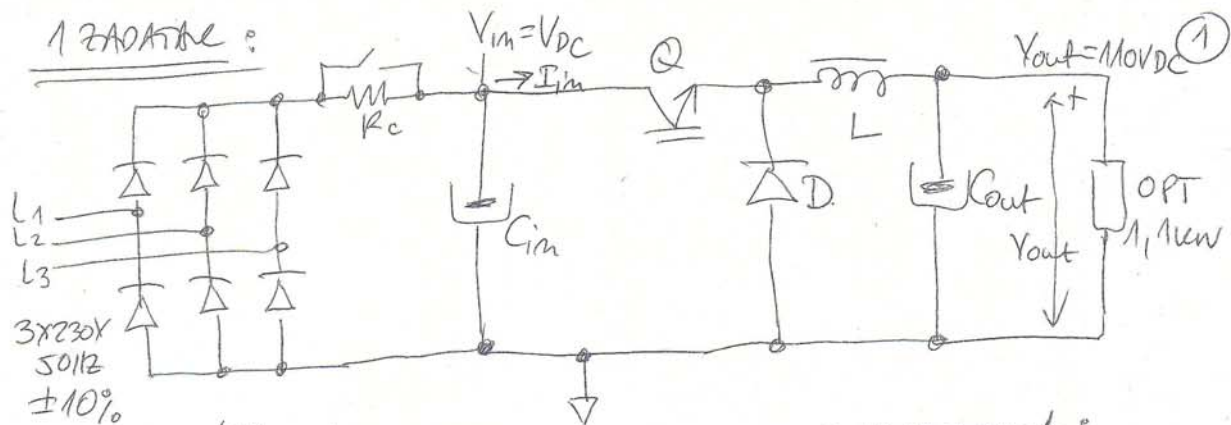
Potrebno je projektovati DC/DC električni neizolovani pretvarač napona koji treba da radi u kontinualnom režimu, za koji su dati ulazni podaci za projektovanje: (1) nominalni DC ulazni napon $110V \pm 10\%$, (2) izlazni napon 220VDC, (3) izlazna snaga 2kW, (4) talasnost struje prigušnice $\leq 20\%$, (5) prekidačka učestanost 25kHz, (6) talasnost izlaznog DC napona $\leq 1\%$

U zadatku je potrebno:

(a) Nacrtati kompletnu električnu šemu energetskog pretvarača, (b) Dimenzionisati pasivne elemente (L i C), (d) dimenzionisati visoko-frekventne prekidačke elemente (prema MAX naponu i MAX struji). Zanimariti padove napona i komutacione gubitke na prekidačkim elementima, kao i unutrašnje otpornosti pasivnih elemenata. Smatrati da je opterećenje na izlazu približno konstantno.

3. Zadatak

U kolu u zadatku 1 potrebno je LEM strujnim senzorom meriti trenutnu vrednost struje prekidačkog tranzistora na osciloskopu. Na raspolaganju su LEM strujni senzori prenosnog odnosa 1:1000, napona napajanja $\pm 24V$ DC, ali različitih propusnih opsega 1MHz, 10MHz, 50MHz i 100MHz i opsega struja 0-10A, 0-25A, 0-50A, 0-100A. Povraćeno naelektrisanje prekidačke diode kod isključenja je $Q_{rr}=500nC$. Vreme oporavka diode je $t_{rr}=50ns$. Odabrati potreban LEM senzor, nacrtati šemu merenja struje i dimenzionisati merni otpornik na izlazu LEM modula tako da se na njemu obezbedi naponski signal 0-10VDC koji se vodi na ulaz osciloskopa radi merenja.



$$\Delta V_{in} \% \leq 2\%$$

$$\Delta i_L \% \leq 10\%$$

$$\Delta V_{out} \% \leq 0.1\%$$

* MAXIMÁLNY NÁPŮN MAX. EF. VÝKONU:

$$230 + 0.1 \cdot 230 = 253V$$

* MINIMÁLNY NÁPŮN MIN. EF. VÝKONU:

$$230 - 0.1 \cdot 230 = 207V$$

MAX. AMPLITÚDA MAXIMÁLNEHO NÁPŮNU $V_{mmax} = 253\sqrt{2} = 356.73V$

MIN. AMPLITÚDA MINIMÁLNEHO NÁPŮNU $V_{min} = 207\sqrt{2} = 291.87V$

- PRI RAZENÍ OD 2% PRI MAXIMÁLNEJ NÁPŮNE NA C_{in}

$$V_{DC}^{max} = \frac{V_{mmax}}{1.01} = \frac{356.73}{1.01} = 353.2V$$

- PRI RAZENÍ OD 2% PRI MINIMÁLNEJ NÁPŮNE NA C_{in}

$$V_{DC}^{min} = \frac{V_{min}}{1.01} = \frac{291.87}{1.01} = 289V$$

SPRÁVNÁ VÝKONNÁ NÁPŮNA NA C_{in} JE VÝKONNÁ A OGRANIČENÁ:

$$289V \leq (V_{DC} = V_{in}) \leq 353.2V$$

$$V_{DC}^{min} \leq V_{DC} \leq V_{DC}^{max}$$

$P_{out} \approx 1.1kW$ $P_{out} \approx P_{in} \approx 1.1kW$ (zohľadnení straty v prevodníku)

$$I_{in} = \frac{P_{in}}{V_{in}} = \frac{P_{in}}{V_{DC}} = \frac{P_{in}}{[V_{DC}^{min} \dots V_{DC}^{max}]}$$

$$I_{in}^{max} = \frac{P_{in}}{V_{DC}^{min}} = \frac{1100}{289} = 3.806A \Rightarrow R_{in} = \frac{V_{DC}^{min}}{I_{in}^{max}} = \frac{289}{3.806} = 75.93\Omega$$

$$I_{im}^{min} = \frac{P_{im}}{V_{dc}^{max}} = \frac{1100}{353,2} = 3,114 \Rightarrow R_{im}^{max} = \frac{V_{dc}^{max}}{I_{im}^{min}} = \frac{353,2}{3,11} = 113,4 \Omega \quad (2)$$

$$75,93 \Omega \leq R_{im} \leq 113,4 \Omega$$

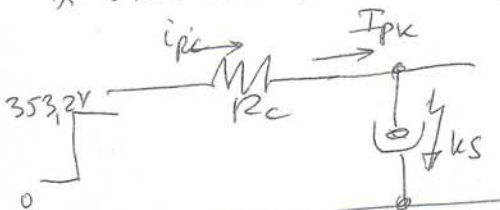
$$R_{im}^{min} \leq R_{im} \leq R_{im}^{max}$$

$$12802 C_{im} : C_{im} \geq \frac{1 + \frac{2}{\frac{\Delta V_{im}}{V_{im}}}}{12 \cdot f \cdot R_{im}^{min}}$$

$$C_{im} \geq \frac{1 + \frac{2}{0,02}}{12 \cdot 50 \cdot 75,93} = \frac{101}{45558} = 2216 \mu F$$

$$\text{ustvari se } C_{im}^* = 2200 \mu F / 400V =$$

* Odbornik za ograničenje struje pulseva C_{im}



$$I_{pk} \leq 30A$$

$$I_{pk} = I_c = \frac{353,2V}{R_c} \leq 30A$$

$$R_c \geq \frac{353,2V}{30A} = 11,773 \Omega$$

$$\text{ustvari se } R_c^* = 12 \Omega$$

$$\int_0^{5\tau} I_{pk} e^{-\frac{t}{\tau}} dt \approx I_{pk} \cdot \tau$$

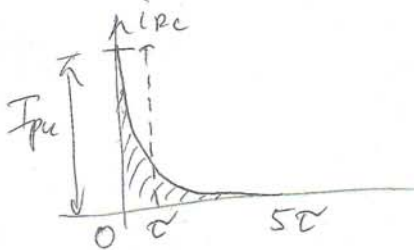
$$\tau = R_c \cdot C_{im} = 12 \Omega \cdot 2200 \mu F = 26,4 \mu s$$

$$5\tau = 132 \mu s = 0,132 s$$

Energetika R_c :

$$E_{Rc} = V_{dc}^{max} \cdot I_{pk} \cdot \tau = 353,2 \cdot 30 \cdot 26,4 \mu s = 279,73 W \cdot s$$

$$\text{ustvari se } R_c^* = 12 \Omega / 20W / 280J$$



$$f_{sw} = 50 \text{ kHz} \quad T_{sw} = \frac{1}{50 \cdot 10^3} = 20 \mu\text{s}$$

(3)

$$289 \text{ V} \leq V_{in} \leq 353,2 \text{ V}$$

Емк. опрацює оптимально:

$$R_{opt} = \frac{V_{out}^2}{P} = \frac{110^2}{1100} = 11 \Omega$$

$$I_{out} = I_{Lor} = \frac{V_{out}}{R_{opt}} = \frac{110 \text{ V}}{11 \Omega} = 10 \text{ A}$$

$$V_{out} = \delta V_{in} = \text{const} \quad S_{min} \cdot V_{in}^{min} = S_{min} \cdot V_{in}^{max}$$

$$S_{min} = \frac{V_{out}}{V_{in}^{max}} = \frac{110}{353,2} = 0,311$$

$$S_{max} = \frac{V_{out}}{V_{in}^{min}} = \frac{110}{289} = 0,38$$

$$\left\{ \begin{array}{l} 0,311 \leq \delta \leq 0,38 \\ S_{min} \quad S_{max} \end{array} \right.$$

$$\Delta i_L = \frac{10}{100} \cdot I_{Lor} = 10 \cdot \frac{10}{100}$$

$$\Delta i_L \leq 1 \text{ A}$$

* Dimensionierung "L"

$$L \gg \frac{(V_{in}^{max} - V_{out}) \cdot S_{min}}{f_{sw} \cdot \Delta i_L}$$

$$L \gg \frac{(353,2 - 110) \cdot 0,311}{50 \cdot 10^3 \cdot 1} = 1,51 \text{ mH}$$

$$I_{Lor} = 10 \text{ A}$$



$$I_{Lmax} = I_{Lor} + \frac{\Delta i}{2} = 10 \text{ A} + \frac{1}{2} \text{ A}$$

$$I_{Lmax} = 10,5 \text{ A}$$

нє вєдєє $L^* = 1,6 \text{ mH} / 15 \text{ A}$

$$\frac{\Delta V_{out}}{V_{out}} = \frac{9,1\%}{1000} = 9001$$

* Dimensionierung "C_{out}"

$$C_{out} \gg \frac{1 - S_{min}}{8 \cdot L^* \cdot f_{sw}^2 \left(\frac{\Delta V_{out}}{V_{out}} \right)} = \frac{1 - 0,311}{8 \cdot 1,6 \text{ m} \cdot (50 \text{ k})^2 \cdot 9001}$$

$$C_{out} \gg \frac{0,687}{32000} = 21,53 \mu\text{F} \rightarrow \text{нє вєдєє}$$

$$C^* = 22 \mu\text{F} / 400 \text{ V} =$$

$$\omega_{rez} = \frac{1}{\sqrt{L^* C^*}} = \frac{1}{\sqrt{1,6 \text{ m} \cdot 22 \mu}} = 5330,0 \text{ rad/s}$$

$$f_{rez} = \frac{\omega_{rez}}{2\pi} = 848,7 \text{ Hz} \ll f_{sw} = 50 \text{ kHz}$$

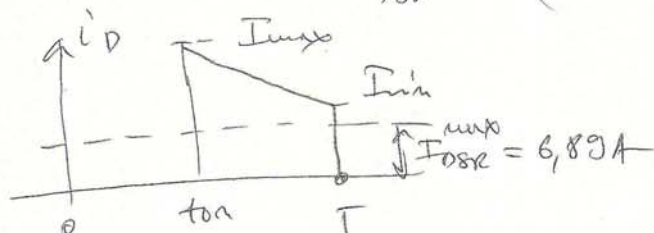
(4)

- Induktivnost $L^* = 1,6 \text{ mH} / 10 \text{ A}$

- kondenzator $C_{in}^* = 220 \mu\text{F} / 400 \text{ V} =$ (za mrežne aplikacije)

- kondenzator $C_{at}^* = 22 \mu\text{F} / 350 \text{ V} =$ (prekidačke aplikacije)

- Dioda D mora da izdrži max. inv. napon $356,73 \text{ V}$,
 u smislu se dioda za $400 \text{ V} =$; snaga neopst
 snaga diode $I_{DSE}^{\text{max}} = (1 - \delta_{\text{min}}) \cdot I_{LSE} = (1 - 0,311) \cdot 10 \text{ A}$
 $= 6,89 \text{ A}$



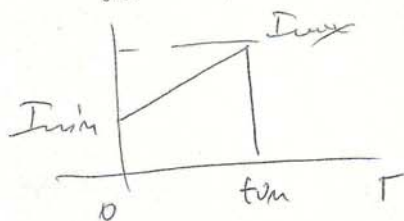
$$I_{\text{max}} = 10 + 0,5 = 10,5 \text{ A}$$

$$I_{\text{min}} = 10 - 0,5 = 9,5 \text{ A}$$

u smislu se „BRZA“ dioda za $400 \text{ V} / 15 \text{ A}$

- tranzistor Q mora da izdrži napon $356,73 \text{ V}$ (mora u 400 V)
 snaga neopst snaga tranzistora $I_{DSE} = \delta_{\text{max}} \cdot I_{at}$

$$I_{DSE} = 0,38 \cdot 10 = 3,8 \text{ A}; I_{\text{max}} = 10,5 \text{ A}$$

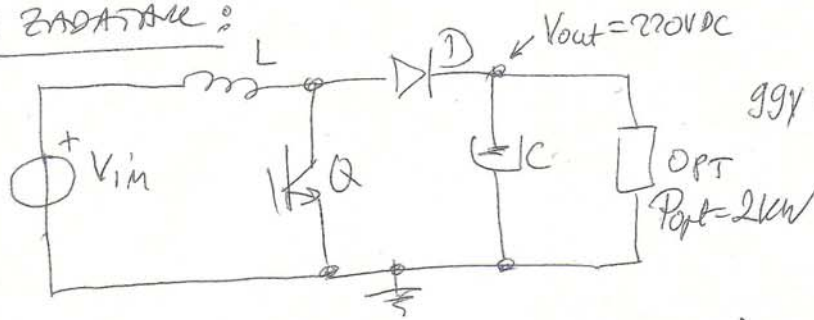


vrška vrednost snage tranzistora
 je max 30 A (videti rešenje u
 zadataku 3)

usvaja se tranzistor za $400 \text{ V} / 15 \text{ A} / I_{pu} = 30 \text{ A}$

2 ZADATKAR:

5



$$99 \leq V_{in} \leq 121V$$

$$\Delta i_L \leq 20\%$$

$$\Delta u_C \leq 1\%$$

$$f_{sw} = 25 kHz$$

$$V_{out} = \frac{V_{in}}{1-\delta} \Rightarrow V_{in} = V_{out}(1-\delta)$$

$$V_{out} = 220V DC = const$$

$$1-\delta = \frac{V_{in}}{V_{out}} \Rightarrow \boxed{\delta = 1 - \frac{V_{in}}{V_{out}}}$$

$$\delta_{min} = 1 - \frac{V_{inmax}}{V_{out}} = 1 - \frac{121}{220} = 0,45 \quad \left\{ \begin{array}{l} 0,45 \leq \delta \leq 0,55 \end{array} \right.$$

$$\delta_{max} = 1 - \frac{V_{inmin}}{V_{out}} = 1 - \frac{99}{220} = 0,55$$

$$P_{in} \approx P_{out} \text{ (zanem. su gubitci u prenosniku)}$$

$$V_{in} = \frac{P_{in}}{I_{in}} \Rightarrow I_{in} = I_{LDC} = \frac{P_{in}}{V_{in}}$$

$$I_{inmax} = \frac{P_{in}}{V_{inmin}} = \frac{2000}{99} = 20,2A$$

$$I_{inmin} = \frac{P_{in}}{V_{inmax}} = \frac{2000}{121} = 16,53A$$

* Dimenz. "L"

- ZA MIN. UL. NAPON

$$L \geq \frac{V_{inmin} \cdot \delta_{max}}{f_{sw} \cdot \Delta i_{Lmax}}$$

$$\Delta i_{Lmax} = 0,2 \cdot I_{inmax} = 4,04$$

$$L \geq \frac{99 \cdot 0,55}{25 \cdot 10^3 \cdot 4,04} = 539 \mu H$$

- ZA MAX UL. NAPON

$$L \geq \frac{V_{inmax} \cdot \delta_{min}}{f_{sw} \cdot \Delta i_{Lmin}} = \frac{121 \cdot 0,45}{25 \cdot 10^3 \cdot 3,3} = 660 \mu H$$

MSRATA de $L^* = 700 \mu H / 25A$

(6)

Dimens. "C"

$$C \geq \frac{I_{out} \cdot t_{onmax}}{V_{out} \left(\frac{\Delta V}{V_{out}} \right) \Delta V} = \frac{I_{out} t_{onmax}}{\Delta V} \cdot \frac{\Delta V}{V_{out}} = \frac{1}{100} \cdot V_{out} = \frac{220}{100} = 2,2 \mu$$

$$I_{out} = \frac{P_{out}}{V_{out}} = \frac{2000}{220} = 9,09A$$

$$C \geq \frac{9,09A \cdot 22 \mu}{2,2V}$$

$$t_{onmax} = S_{max} \cdot T = 0,55 \cdot 40 \mu s = 22 \mu s$$

$$T = \frac{1}{25k} = 40 \mu s$$

$$C \geq 99,9 \mu F$$

MSRATA: $C^* = 100 \mu F / 350VDC$

$C^* = 100 \mu F / 400VDC$

* DIODA:

- MAX. SREŠTA OBLJE

$$I_{imp} = 20,2A + 2 = 22,2A$$

- MAX SREŠTA REŠET
SREŠTA OBLJE:

$$I_{DSE}^{max} = I_{out} = 9,09A$$

- MAX. MAREN OBLJE
(INREZNI)

$$V_{Dmax}^{inv} = +V_{out} = +220VDC. \text{ (MSRATA de } 350V = i_{L} 400V)$$

$$DIODA: 15A/400V =$$

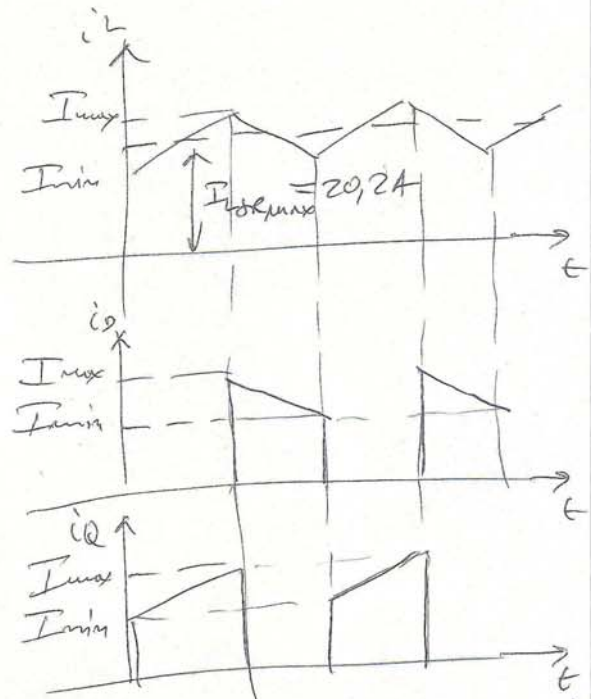
* TRANSISTOR:

$$- I_{imp} = 22,2A$$

$$- \text{MAX. SREŠTA REŠET } I_{QSE}^{max} = S_{min} \cdot I_{LSE}^{max} = 0,45 \cdot 20,2 = 9,09A$$

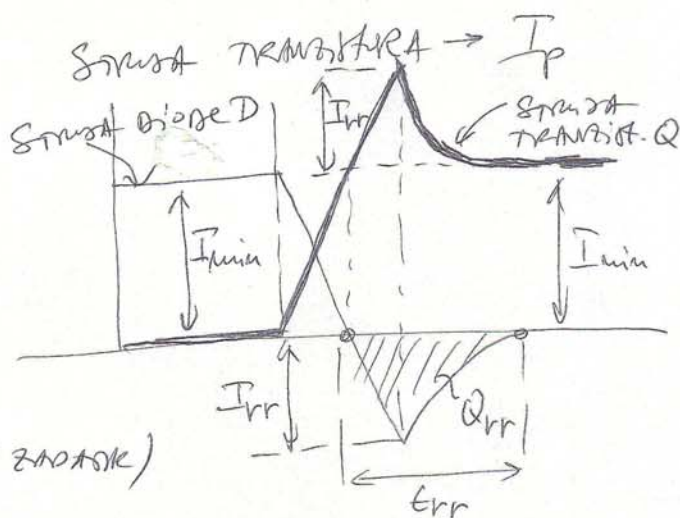
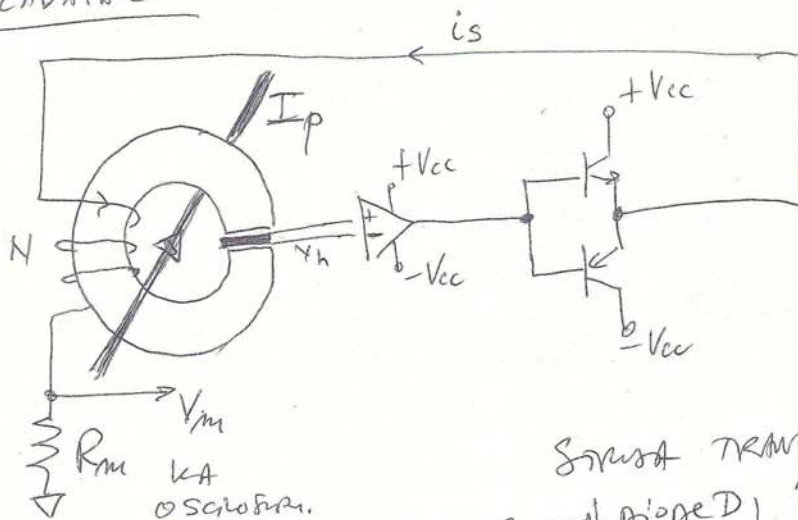
- MAX. MAREN NA TRANSISTORU + 220VDC (MSRATA de 350V = i_L 400V)

- TRANSISTOR 25A/400V =



3 ZADATAK

7



$$I_{rr} = \frac{2Q_{rr}}{t_{tr}} = \frac{2 \cdot 50 \mu C}{50 \mu s}$$

$$I_{rr} = 20 A$$

$$I_{min} = 9,5 A \text{ (viden prvi zadatak)}$$

$$I_p = I_{min} + I_{rr} = 9,5 A + 20 A = 29,5 A \rightarrow 30 A \rightarrow \text{mora se LEM za 50 A}$$

$$\frac{1}{t_{tr}} = \frac{1}{50 \mu s} = 20 \text{ MHz} \rightarrow \text{mora se LEM za 50 MHz}$$

LEM:

0-50 A

50 MHz

1:1000

$$R_m \cdot \frac{I_p}{N} = V_{m,osc} = 10 V \Rightarrow R_m = \frac{V_{m,osc} \cdot N}{I_p}$$

$$R_m = \frac{10 V \cdot 1000}{50 A} = 200 \Omega$$

$$P_{R_m} = R_m \cdot I_m^2 = 200 \cdot \left(\frac{50}{1000} \right)^2 = 200 \cdot (50 \mu A)^2 = 0,5 W$$

$$R_m^* = 200 \Omega / 0,5 W$$

$$\text{za strom } I_p = 30 A \rightarrow V_{m,osc} = 200 \cdot \frac{30}{1000} = 6 V < 10 V$$