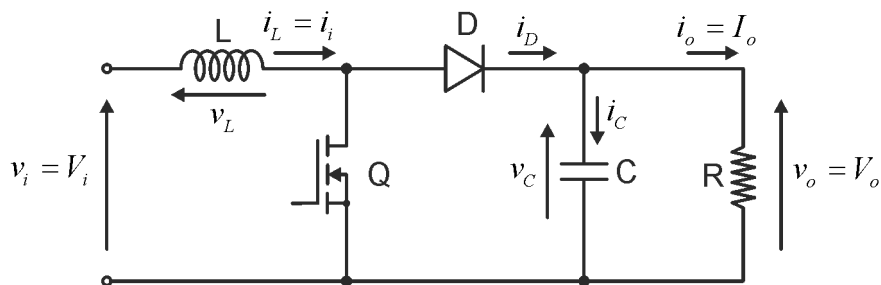
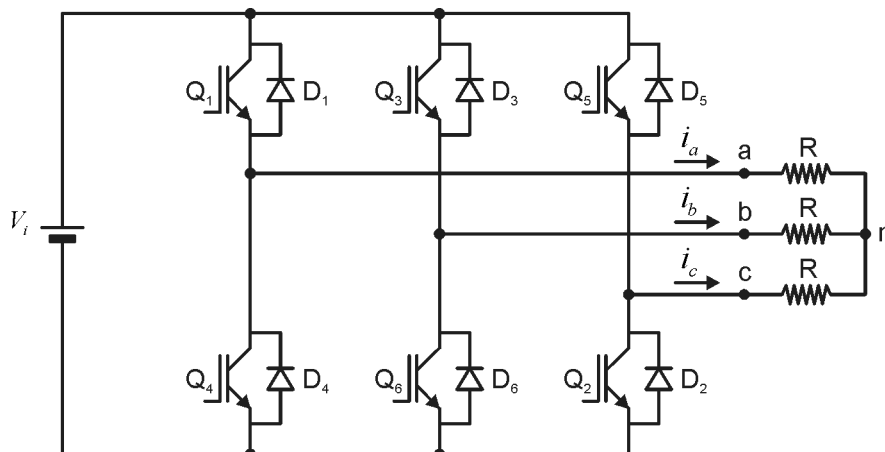


1. На улаз чопера подизача напона приказаног на слици доведен је напон  $V_i = 12\text{ V}$ . Средња вредност напона на оптерећењу је  $V_o = 40\text{ V}$ . Чопер ради са прекидачком учестаношћу  $f = 50\text{ kHz}$ . Ако је индуктивност пригушнице  $L = 100\text{ }\mu\text{H}$ , одредити средњу вредност струје оптерећења у случају када претварач ради на граници прекидног режима. Занемарити наизменичну компоненту напона на оптерећењу.



2. Инвертор приказан на слици ради у режиму са правоугаоним напоном. Оптерећење инвертора чине три отпорника отпорности  $R = 20\text{ }\Omega$ , везана у звезду. Радна учестаност инвертора је  $f = 60\text{ Hz}$ . На улаз инвертора доведен је напон  $V_i = 400\text{ V}$ . Нацртати таласни облик фазног напона  $v_{an}$ , и одредити  $THD$  фактор фазног напона, снагу на оптерећењу, као и ефективну вредност струје једног транзистора.



**Испит траје 2 сата**

## 1. задатак

С обзиром на то да је у тексту задатка речено да претварач треба да ради на граници прекидног режима, струја  $i_L$  биће једнака нули непосредно пре укључења транзистора. Самим тим, након укључења транзистора, струја кроз пригушницу ће линеарно да расте од нуле, под утицајем улазног напона  $V_i$ :

$$i_L = \frac{V_i}{L} \cdot t, \quad 0 < t \leq DT \quad (1.1)$$

$D$  је *duty cycle*, а  $T$  је период рада претварача.

Максимална вредност ове струје,  $I_{L\max}$ , достиже се на крају интервала  $DT$  у току којег је транзистор укључен:

$$I_{L\max} = \frac{V_i}{L} \cdot DT = \frac{V_i D}{f_s L} \quad (1.2)$$

Једначина везе између напона на улазу претварача и средње вредности напона на излазу претварача, када претварач ради на граници прекидног режима, може се добити на основу чињенице да је средња вредност напона на пригушници  $L$  једнака нули у устаљеном стању:

$$V_i \cdot t_{on} + (V_i - V_o) \cdot t_{off} = 0 \Rightarrow V_o = \frac{V_i}{1-D} \quad (1.3)$$

Из претходне једначине следи да претварач ради са *duty cycle*-ом:

$$D = 1 - \frac{V_i}{V_o} = 0.7 \quad (1.4)$$

На основу закона о одржању енергије, а имајући у виду да су све компоненте идеалне, средња вредност улазне струје је:

$$V_i \cdot I_i = V_o \cdot I_o = \frac{V_i \cdot I_o}{1-D} \Rightarrow I_i = \frac{I_o}{1-D} \quad (1.5)$$

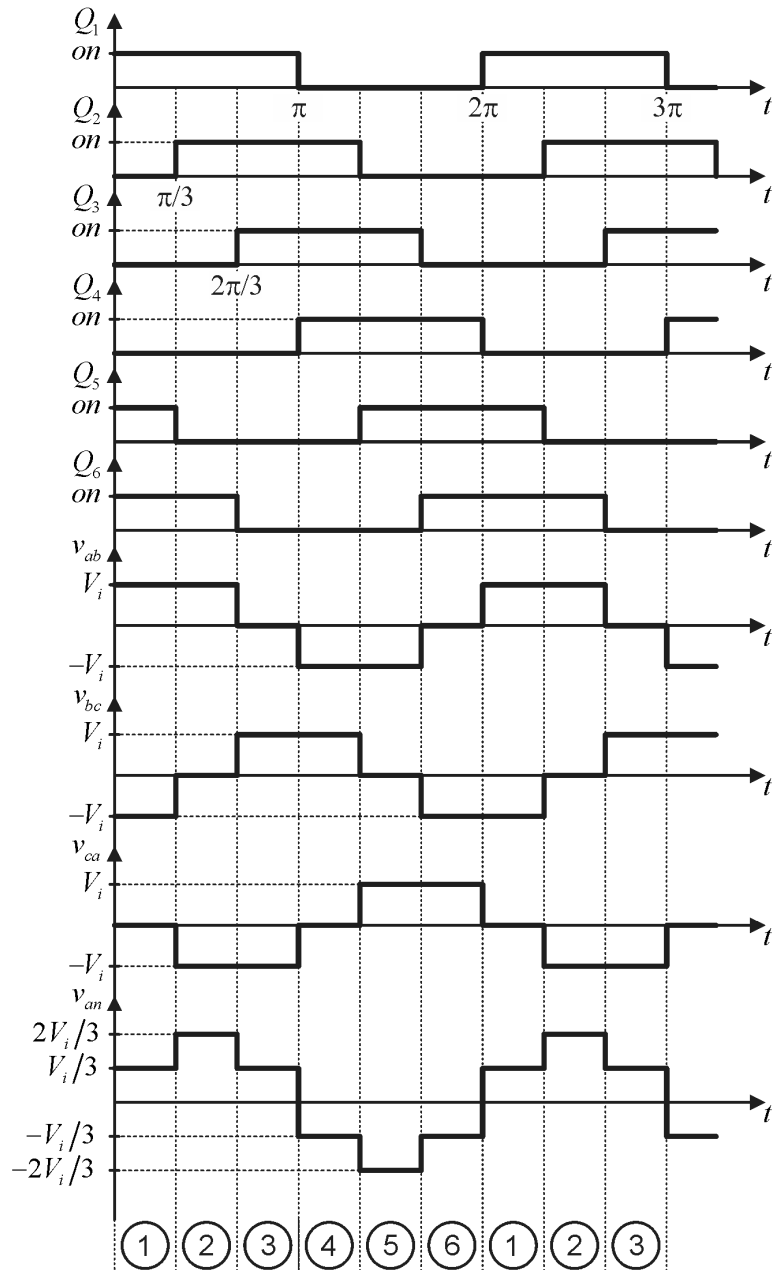
С обзиром на то да претварач ради на граници прекидног режима, важи следећа једначина:

$$I_{iGR} = \frac{I_{L\max}}{2} = \frac{V_i D}{2f_s L} \quad (1.6)$$

На основу (1.4) и (1.5), средња вредност струје оптерећења у случају када претварач ради на граници прекидног режима је:

$$I_{oGR} = \frac{V_i D(1-D)}{2f_s L} = 252 \text{ mA} \quad (1.7)$$

## 2. задатак



С обзиром на то да инвертор ради у *square-wave* моду, сваки транзистор ће да буде укључен у трајању  $8.333\text{ms}$ , што одговара половини периоде рада инвертора. Ово време одговара углу  $\pi$ . Транзистори у другој грани инвертора

укључују се  $2\pi/3$  након укључења одговарајућих транзистора у првој грани, а транзистори у трећој грани  $2\pi/3$  након укључења одговарајућих транзистора у другој грани. На тај начин се на оптерећењу обезбеђује уравнотежен систем трофазних напона. У сваком тренутку укључена су 3 транзистора. Бројеви у ознаци транзистора показују редослед њиховог укључивања. Периода рада инвертора може да се подели на 6 интервала који трају по  $60^\circ$ . У првом интервалу (према ознаци са слике) укључени су транзистори  $Q_5, Q_6, Q_1$ . У другом интервалу укључени су  $Q_6, Q_1, Q_2$ ; у трећем  $Q_1, Q_2, Q_3$ ; у четвртном  $Q_2, Q_3, Q_4$ ; у петом  $Q_3, Q_4, Q_5$ ; у шестом  $Q_4, Q_5, Q_6$ .

Таласни облик фазног напона  $v_{an}$  може се добити анализом таласних облика у прва три интервала рада инвертора, користећи притом еквивалентне шеме које важе у овим интервалима. У првом интервалу рада важи:

$$i_a = i_c = \frac{1}{2} \cdot \frac{V_i}{3R} = \frac{V_i}{3R} \Rightarrow v_{an} = v_{cn} = R \cdot i_a = \frac{V_i}{3} \quad (2.1)$$

$$i_b = -2 \cdot i_a = -\frac{2V_i}{3R} \Rightarrow v_{bn} = R \cdot i_b = -\frac{2V_i}{3}$$

У другом интервалу рада важи:

$$i_a = \frac{V_i}{3R} = \frac{2V_i}{3R} \Rightarrow v_{an} = R \cdot i_a = \frac{2V_i}{3} \quad (2.2)$$

$$i_b = i_c = -\frac{i_a}{2} = -\frac{V_i}{3R} \Rightarrow v_{bn} = v_{cn} = R \cdot i_b = -\frac{V_i}{3}$$

У трећем интервалу рада важи:

$$i_a = i_b = \frac{1}{2} \cdot \frac{V_i}{3R} = \frac{V_i}{3R} \Rightarrow v_{an} = v_{bn} = R \cdot i_a = \frac{V_i}{3} \quad (2.3)$$

$$i_c = -2 \cdot i_a = -\frac{2V_i}{3R} \Rightarrow v_{cn} = R \cdot i_c = -\frac{2V_i}{3}$$

На основу претходних једначина добијен је таласни облик напона  $v_{an}$ . Напон  $v_{an}$  може се представити *Fourier*-овим редом:

$$v_{an}(t) = \frac{a_0}{2} + \sum_{n=1}^{\infty} (a_n \cos(n\omega t) + b_n \sin(n\omega t)) \quad (2.4)$$

С обзиром на то да је таласни облик напона  $v_{an}$  непарна функција времена са полупериодном симетријом, само непарни коефицијенти  $b_k$  у

*Fourier*-овом реду којим се представља ова функција нису једнаки нули (коэффициенти  $a_k$ ,  $k \in N_0$  су једнаки нули):

$$b_n = \frac{4}{\pi} \left( \int_0^{\frac{\pi}{3}} \frac{V_i}{3} \cdot \sin(n\omega t) d(\omega t) + \int_{\frac{\pi}{3}}^{\frac{2\pi}{3}} \frac{2V_i}{3} \cdot \sin(n\omega t) d(\omega t) \right), \quad n = 2k + 1, k \in N_0 \quad (2.5)$$

$$b_n = \frac{4V_i}{3n\pi} \left( 1 + \cos \frac{n\pi}{3} \right), \quad n = 2k + 1, k \in N_0$$

Коефицијент  $b_n$  из претходне једначине једнак је нули за  $n = 3k$ ,  $k \in N$ , што значи да фазне струје немају треће хармонике и њихове мултипле. За остале  $n = 2k + 1$ ,  $k \in N_0$  израз у загради у другој једначини (1.7) једнак је  $3/2$ . Дакле, фазни напон  $v_{an}$  може се представити *Fourier*-овим редом:

$$v_{an}(t) = \sum_{n=1,5,7,\dots}^{\infty} \frac{2V_i}{n\pi} \cdot \sin(n\omega t) \quad (2.6)$$

Ефективна вредност напона  $v_{an}$  дата је са:

$$V_{an} = \sqrt{\frac{1}{\pi} \left( 2 \cdot \frac{\pi V_i^2}{3 \cdot 9} + \frac{\pi 4V_i^2}{3 \cdot 9} \right)} = \frac{\sqrt{2}}{3} \cdot V_i = 188.56 \text{ V} \quad (2.7)$$

Ефективна вредност првог хармоника напона  $v_{an}$  дата је са:

$$V_{an1} = \frac{1}{\sqrt{2}} \cdot \frac{2V_i}{\pi} = 180.06 \text{ V} \quad (2.8)$$

*THD* фактор овог напона је:

$$THD_{V_{an}} = \frac{\sqrt{V_{an}^2 - V_{an1}^2}}{V_{an1}} \cdot 100\% = 31.09\% \quad (2.9)$$

Снага на оптерећењу је:

$$P_o = \frac{3V_{an}^2}{R} = 5.33 \text{ kW} \quad (2.10)$$

С обзиром на то да линијску струју деле два транзистора, ефективна вредност струје једног транзистора једнака је:

$$I_{Q(RMS)} = \frac{V_{an}}{\sqrt{2}R} = 6.67 \text{ A} \quad (2.11)$$