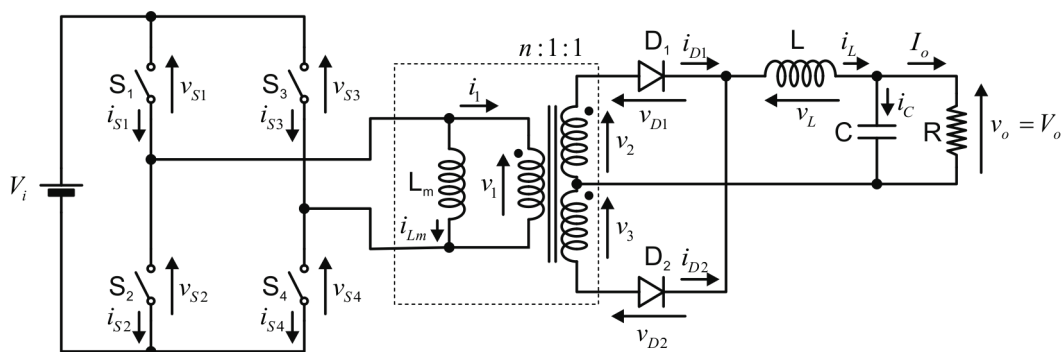
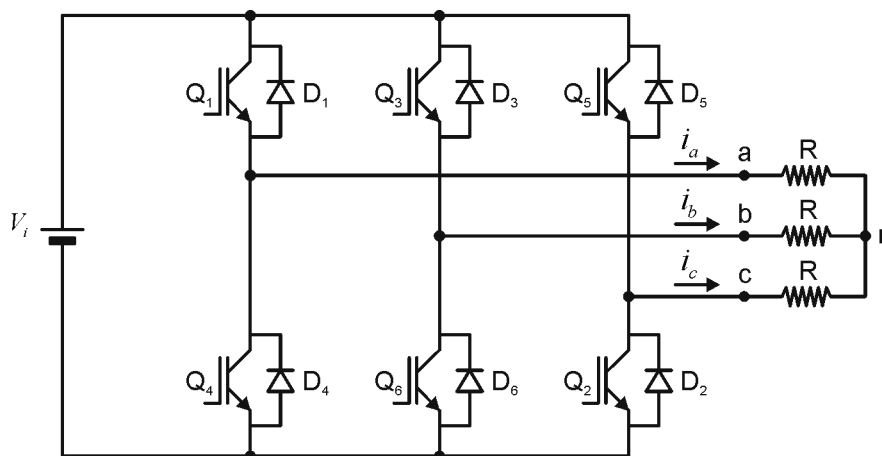


1. На улаз мосног претварача приказаног на слици, доведен је напон $V_i = 300\text{ V}$. Преносни однос трансформатора је $10:1:1$, а његова индуктивност магнећења је $L_m = 10\text{ mH}$. Индуктивност пригушнице у колу оптерећења је $L = 10\text{ }\mu\text{H}$ а отпорност оптерећења је $R = 10\text{ }\Omega$. Претварач ради са прекидачком учестаношћу $f = 100\text{ kHz}$, и *duty cycle*-ом $D = 0.4$. Одредити: а) средњу вредност напона на излазу претварача; б) максималну тренутну вредност струје прекидача S_1 . У ком режиму ради претварач? Занемарити наизменичну компоненту напона на оптерећењу.



2. Инвертор приказан на слици ради у режиму са правоугаоним напоном. Оптерећење инвертора чине три отпорника отпорности $R = 10\text{ }\Omega$, повезана у звезду. Радна учестаност инвертора је $f = 60\text{ Hz}$. На улаз инвертора доведен је напон $V_i = 300\text{ V}$. Нацртати таласни облик фазног напона v_{an} , и одредити *THD* фактор фазног напона, снагу на оптерећењу, као и ефективну вредност струје једног транзистора.



1. задатак

Претпоставићемо да претварач ради у непрекидном режиму. У интервалу у којем су укључени прекидачи S_1 и S_4 , напон на примару трансформатора је:

$$v_1 = v_{Lm} = V_i = L_m \frac{di_{Lm}}{dt}, \quad 0 < t \leq DT \quad (1.1)$$

За то време, напон на прекидачима S_2 и S_3 је:

$$v_{S2} = v_{S3} = V_i, \quad 0 < t \leq DT \quad (1.2)$$

Струја магнећења је:

$$i_{Lm}(t) = \frac{V_i}{L_m} \cdot t + i_{Lm}(0), \quad 0 < t \leq DT \quad (1.3)$$

при чему је $i_{Lm}(0) < 0$.

Peak-to-peak рипл струје магнећења је:

$$\Delta i_{Lm} = i_{Lm}(DT) - i_{Lm}(0) = \frac{V_i D}{f L_m} \quad (1.4)$$

С обзиром на то да струја магнећења нема једносмерну компоненту (јер би у противном дошло до засићења магнетског језгра), њене вредности на границама овог интервала су:

$$i_{Lm}(0) = -\frac{\Delta i_{Lm}}{2} = -\frac{V_i D}{2 f L_m} \quad (1.5)$$

и

$$i_{Lm}(DT) = \frac{\Delta i_{Lm}}{2} = \frac{V_i D}{2 f L_m} \quad (1.6)$$

Напон на секундарним намотајима трансформатора је:

$$v_2 = v_3 = \frac{v_1}{n} = \frac{V_i}{n}, \quad 0 < t \leq DT \quad (1.7)$$

Ови напони директно поларишу диоду D_1 , а инверзно диоду D_2 , због чега се диода D_2 искључује. При томе је напон на крајевима диоде D_2 :

$$v_{D2} = -v_2 - v_3 = -\frac{2V_i}{n}, \quad 0 < t \leq DT \quad (1.8)$$

Напон на пригушници L у овом интервалу рада претварача је:

$$v_L = \frac{V_i}{n} - V_o = L \frac{di_L}{dt}, \quad 0 < t \leq DT \quad (1.9)$$

Па је струја кроз пригушницу:

$$i_L(t) = i_{D1} = \frac{V_i - V_o}{L} t + i_L(0) \quad , \quad 0 < t \leq DT \quad (1.10)$$

Peak-to-peak рипл струје кроз пригушницу L је:

$$\Delta i_L = i_L(DT) - i_L(0) = \frac{\left(\frac{V_i - V_o}{n}\right) D}{fL} \quad (1.11)$$

Струја кроз примарни намотај идеалног трансформатора је:

$$i_1 = \frac{i_L}{n} = \frac{V_i - V_o}{nL} t + \frac{i_L(0)}{n} \quad , \quad 0 < t \leq DT \quad (1.12)$$

Струја кроз прекидаче S₁ и S₄ је:

$$i_{S1} = i_{S4} = i_1 + i_{Lm} = \frac{V_i - V_o}{nL} t + \frac{i_L(0)}{n} + \frac{V_i}{L_m} \cdot t + i_{Lm}(0) \quad , \quad 0 < t \leq DT \quad (1.13)$$

С обзиром на то да је средња вредност напона на пригушници L у устаљеном стању једнака нули, важи:

$$\left(\frac{V_i - V_o}{n}\right) DT = V_o \left(\frac{1}{2} - D\right) T \quad (1.14)$$

тј:

$$\frac{V_o}{V_i} = \frac{2D}{n} \quad , \quad D \leq 0.5 \quad (1.15)$$

средња вредност напона на оптерећењу је:

$$V_o = \frac{2D}{n} \cdot V_i = \frac{0.8}{10} \cdot 300 = 24 \text{ V} \quad (1.16)$$

Ако претварач ради у непрекидном режиму, тада мора да важи:

$$I_o > \frac{\Delta i_L}{2} \quad (1.17)$$

односно:

$$\frac{V_o}{R} > \frac{\left(\frac{V_i - V_o}{n}\right) D}{2fL} \Rightarrow 2.4 \text{ A} > 1.2 \text{ A} \quad (1.18)$$

што значи да претварач заиста ради у непрекидном режиму.

Максимална тренутна вредност струје прекидача S_1 је:

$$i_{S1\max} = i_1(DT) + i_{Lm}(DT) = \frac{I_o}{n} + \frac{\Delta i_L}{2n} + \frac{\Delta i_{Lm}}{2} = \frac{V_o}{nR} + \frac{\left(\frac{V_i}{n} - V_o\right)D}{2nfL} + \frac{V_i D}{2fL_m} = 0.42 \text{ A} \quad (1.19)$$

2. задатак

С обзиром на то да инвертор ради у *square-wave* моду, сваки транзистор ће да буде укључен у трајању 8.333ms, што одговара половини периоде рада инвертора. Ово време одговара углу π . 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° . 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:

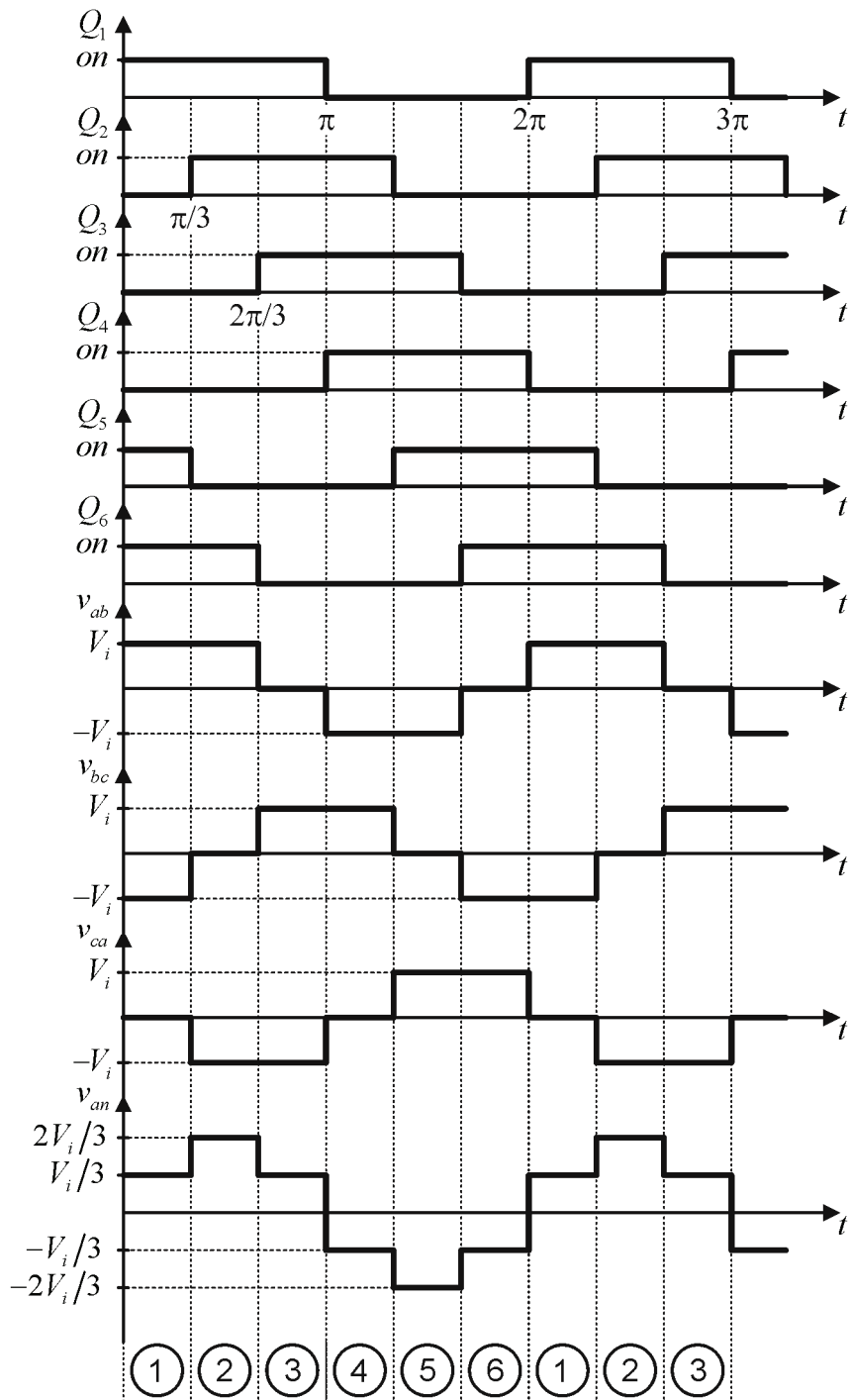
$$i_a = \frac{V_i}{3R} = \frac{2V_i}{3R} \Rightarrow v_{an} = R \cdot i_a = \frac{2V_i}{3} \quad (2.2)$$

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

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 симетријом у односу на $\pi/2$, 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 (2.5) 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:

$$V_{an} = \sqrt{\frac{1}{\pi} \left(2 \cdot \frac{\pi V_i^2}{3 \cdot 9} + \frac{\pi 4V_i^2}{3 \cdot 9} \right)} = \frac{\sqrt{2}}{3} \cdot V_i = 141.42 \text{ V} \quad (2.7)$$

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

$$V_{an1} = \frac{1}{\sqrt{2}} \cdot \frac{2V_i}{\pi} = 135.04 \text{ V} \quad (2.8)$$

THD фактор овог напона је:

$$THD_{V_{an}} = \frac{\sqrt{V_{an}^2 - V_{an1}^2}}{V_{an1}} \cdot 100\% = 31.1\% \quad (2.9)$$

Снага на оптерећењу је:

$$P_o = \frac{3V_{an}^2}{R} = 6 \text{ kW} \quad (2.10)$$

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

$$I_{Q(RMS)} = \frac{V_{an}}{\sqrt{2}R} = 10 \text{ A} \quad (2.11)$$