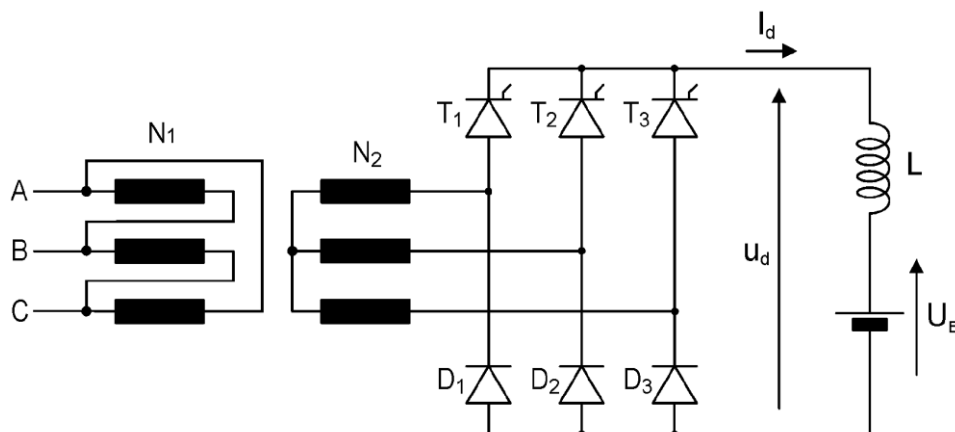
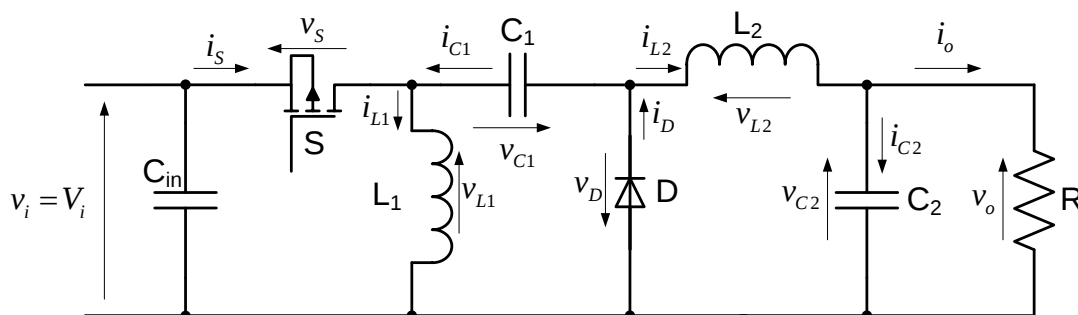


ЕНЕРГЕТСКИ ПРЕТВАРАЧИ 2 (13E013EP2) октобар 2016.

1. Батерија напона $U_B = 200 \text{ V}$ пуни се преко трофазног полууправљивог мосног исправљача, који је повезан на мрежу $3 \times 380 \text{ V}$, 50 Hz преко трансформатора у спрези Dy , са преносним односом $m = N_1/N_2 = 3.8$, као на слици. На ред са батеријом повезана је пригушница индуктивности $L = 1 \text{ mH}$. Угао управљања тиристорима је $\alpha = 90^\circ$. Одредити средњу вредност струје пуњења батерије.



2. На улаз ZETA претварача приказаног на слици доводи се једносмеран напон у опсегу $V_i = 9-15 \text{ V}$. Чопер ради са прекидачком учестаношћу у опсегу $f = 340-460 \text{ kHz}$. Вредност излазног напона треба одржавати на константној вредности од $V_o = 12 \text{ V}$, при излазној струји у опсегу $I_o = 0.7-1.2 \text{ A}$. Одредити минималне потребне вредности индуктивности идеално магнетски спрегнутих пригушница $L_1 = L_2$, тако да претварач при свим условима ради у непрекидном режиму. Одредити максималну тренутну вредност струје прекидача $I_{S \max}$ и напона на прекидачу, $V_{S \max}$ у свим режимима. Занемарити рипл напона на кондензаторима.



ИСПИТ ТРАЈЕ 2 САТА

1. задатак

С обзиром на спрегу трансформатора, ефективна вредност фазног напона на секундару трансформатора је:

$$E = \frac{380}{3.8} = 100 \text{ V.} \quad (1.1)$$

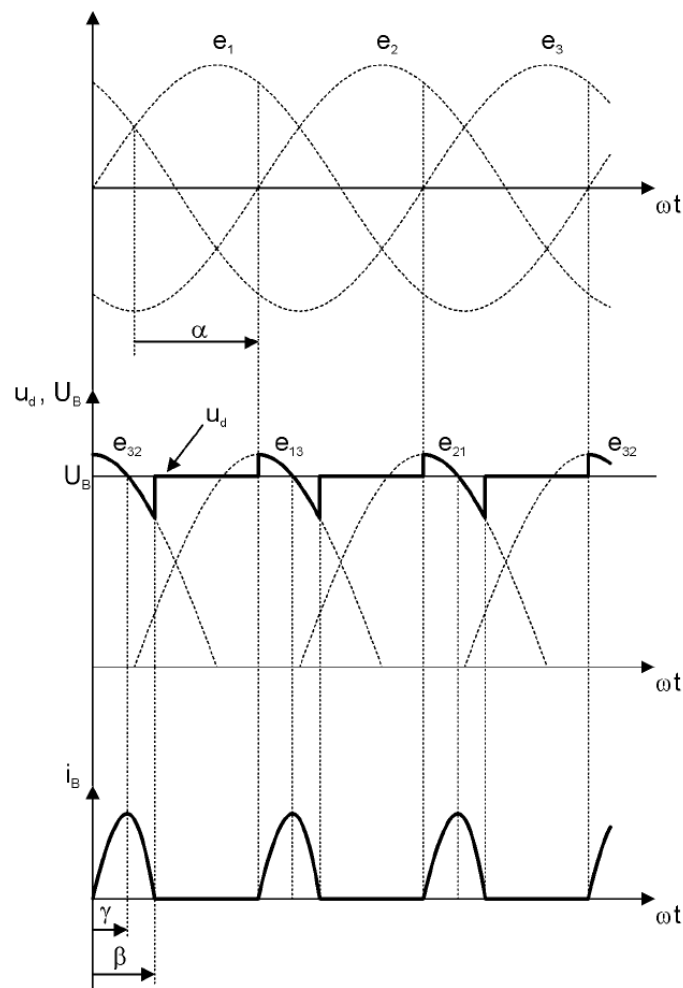
Ако је струја оптерећења непрекидна, средња вредност напона на оптерећењу (занемарујући комутацију) је:

$$U_d = \frac{3\sqrt{6}E}{2\pi} (1 + \cos \alpha) = 116.95 \text{ V.} \quad (1.2)$$

С обзиром на то да је:

$$U_d < U_B, \quad (1.3)$$

струја оптерећења је прекидна. На следећој слици су приказани таласни облици напона на оптерећењу и струје оптерећења у прекидном режиму.



Напон на пригушници L у интервалима када кроз њу постоји струја дат је изразом:

$$L \frac{di}{dt} = \sqrt{6}E \cos \omega t - U_B,$$

одакле је струја пригушнице:

$$i(t) = \frac{\sqrt{6}E}{\omega L} \sin \omega t - \frac{U_B}{L} t. \quad (1.4)$$

Струја оптерећења расте према датој релацији од тренутка $t = 0$, и опет опада на нулу у тренутку $t = \beta/\omega$:

$$\frac{\sqrt{6}E}{\omega L} \sin \beta = \frac{U_B}{\omega L} \beta \Rightarrow \sqrt{6}E \sin \beta = U_B \beta \Rightarrow \sin \beta = 0.8165 \beta. \quad (1.5)$$

Нумеричким решавањем добијене трансцедентне једначине добија се:

$$\beta = 1.08 \text{ rad } (61.88^\circ) \quad (1.6)$$

Средња вредност струје батерије се сада може одредити као:

$$I_d = \frac{3}{T} \int_0^{\frac{\beta}{\omega}} \frac{1}{L} \left[\frac{\sqrt{6}E}{\omega} \sin \omega t - U_B t \right] dt = \frac{3\omega}{2\pi L} \left[\frac{\sqrt{6}E}{\omega^2} (1 - \cos \beta) - \frac{U_B}{2} \left(\frac{\beta}{\omega} \right)^2 \right], \quad (1.7)$$

то јест:

$$I_d = \frac{3}{2\pi L} \left[\frac{\sqrt{6}E}{\omega} (1 - \cos \beta) - \frac{U_B \beta^2}{2\omega} \right] = 19.54 \text{ A}. \quad (1.8)$$

2. задатак

С обзиром на то да се траже индуктивности пригушница за које ће претварач увек радити у непрекидном режиму, биће анализирани само једначине за непрекидан режим.

У интервалу у току којег је прекидач укључен, напон на пригушници L_1 је једнак улазном напону:

$$v_{L1} = V_i \quad (2.1)$$

Услед тога, струја пригушнице L_1 линеарно расте од I_{L1min} до I_{L1max} , под утицајем улазног напона. Према томе, у току овог интервала важи једначина:

$$i_{L1} = I_{L1min} + \frac{V_i}{L_1} \cdot t, \quad 0 < t \leq DT \quad (2.2)$$

На крају интервала у току којег је прекидач укључен достиже се максимална вредност струје пригушнице L_1 :

$$I_{L1max} = I_{L1min} + \frac{V_i}{L_1} \cdot DT \quad (2.3)$$

У овом интервалу, напон на пригушници L_2 је:

$$v_{L2} = V_i + V_{C1} - V_o, \quad (2.4)$$

Струја пригушнице L_2 се мења линеарно, према једначини:

$$i_{L2} = I_{L2min} + \frac{V_i + V_{C1} - V_o}{L_2} \cdot t, \quad 0 < t \leq DT \quad (2.5)$$

На крају интервала у току којег је прекидач укључен достиже се максимална вредност струје пригушнице L_2 :

$$I_{L2max} = I_{L2min} + \frac{V_i + V_{C1} - V_o}{L_2} \cdot DT \quad (2.6)$$

У интервалу у току којег је прекидач S искључен, диода D проводи, и струја пригушнице L_1 опада под утицајем напона:

$$v_{L1} = -V_{C1} \quad (2.7)$$

Струја пригушнице се под утицајем овог напона мења као:

$$i_{L1} = I_{L1\max} - \frac{V_{C1}}{L_1} \cdot t, \quad (2.8)$$

и на крају овог интервала поново постаје једнака минималној вредности .

Напон на пригушници L_2 је у овом интервалу једнак:

$$v_{L2} = -V_o, \quad (2.9)$$

па се струја пригушнице мења према једначини:

$$i_{L2} = I_{L2\max} - \frac{V_o}{L_2} \cdot t \quad (2.10)$$

Из услова да средња вредност напона на обе пригушнице у току једног периода рада претварања мора бити једнака нули, следе релације:

$$v_{L1\text{avg}} = 0 \Rightarrow V_i \cdot D - V_{C1} \cdot (1 - D) = 0 \quad (2.11)$$

$$v_{L2\text{avg}} = 0 \Rightarrow (V_i + V_{C1} - V_o) \cdot D - V_o \cdot (1 - D) = 0 \quad (2.12)$$

Из релације (2.11) следи израз за средњу вредност напона на кондензатору C_1 :

$$V_{C1} = V_i \cdot \frac{D}{1 - D} \quad (2.13)$$

На основу релација (2.11) и (2.12), средња вредност напона на оптерећењу је:

$$V_o = V_i \cdot \frac{D}{1 - D} = V_{C1} \quad (2.14)$$

Вредност duty cycle-а у функцији излазног и улазног напона дата је са:

$$D = \frac{V_o}{V_i + V_o} \quad (2.15)$$

Пик-то-пик рипл струје пригушнице представља промену струје пригушнице у току интервала у којем проводи прекидач S:

$$\Delta I_{L1} = \Delta I_{L2} = \frac{1}{2} \frac{V_i}{L} \cdot DT = \frac{V_i D}{2 f L} = \frac{V_o (1 - D)}{2 f L} \quad (2.16)$$

Ради једноставности записа, индуктивности обеју пригушница ће надаље бити обележаване са L ($L = L_1 = L_2$). Фактор $\frac{1}{2}$ који фигурише у (2.16) је последица магнетске спреге пригушница, која обезбеђује два пута мање промене струје при истом напону. С обзиром на то да су индуктивности пригушница међусобно једнаке, њихови риплови имају исту вредност.

Средња вредност улазне струје може се одредити на основу једнакости улазне и излазне снаге:

$$P_i = P_o \Rightarrow V_i I_i = V_o I_o \Rightarrow I_i = \frac{V_o I_o}{V_i} = \frac{D I_o}{1-D} \quad (2.17)$$

Струја прекидача је једнака збиру струја пригушница. Максимална вредност има се у тренутку DT , када су струје обеју пригушнице максималне:

$$I_{S\max} = I_{L1\max} + I_{L2\max} = I_{L1} + I_{L2} + \frac{\Delta I_{L1}}{2} + \frac{\Delta I_{L2}}{2} = I_{L1} + I_o + \Delta I_L \quad (2.18)$$

Средња вредност струје пригушнице L_1 је једнака улазној струји, јер је средња вредност струје кондензатора једнака нули. Из истог разлога је и средња вредност струје пригушнице L_2 једнака средњој вредности улазне струје:

$$\begin{aligned} I_{L1} &= I_i \\ I_{L2} &= I_o \end{aligned} \quad (2.19)$$

па је максимална вредност струје прекидача:

$$I_{S\max} = I_i + I_o + \Delta I_L = \frac{I_o}{1-D} + \Delta I_L \quad (2.20)$$

Максимална вредност напона на прекидачу једнака је:

$$V_{S\max} = V_{C1} + V_i = V_i + V_o \quad (2.21)$$

Да би претварач радио у непрекидном режиму, потребно је да струје обеју пригушница буду непрекидне. У том смислу, критичан је режим са максималним риплом струје и минималном средњом вредношћу струје пригушнице. Режим са максималним риплом наступа када је duty cycle минималан и када је прекидачка учестаност минимална:

$$\Delta I_{L1\max} = \Delta I_{L2\max} = \frac{V_o (1 - D_{\min})}{2 f_{\min} L} \quad (2.22)$$

Минимална вредност duty cycle-а има се при максималној вредности улазног напона:

$$D_{\min} = \frac{V_o}{V_{i\max} + V_o} = 0.444 \quad (2.23)$$

Минимална струја пригушнице L_1 има се при минималној вредности улазне струје, у режиму са минималном излазном струјом и минималним duty cycle-ом:

$$I_{L1min} = \frac{D_{min} I_{0min}}{1 - D_{min}} = 0.56 \text{ A} \quad (2.24)$$

Минимална вредност струје пригушнице L_2 једнака је минималној вредности излазне струје, тј. 0.7 A, тако да је са аспекта непрекидности струје критична пригушница L_1 . Како би струје пригушнице била непрекидна, неопходно је да буде испуњен услов:

$$I_{L1min} - \frac{\Delta I_{L1max}}{2} \geq 0 \quad (2.25)$$

Минимална потребна индуктивност пригушнице (пригушница) може се одредити за гранични случај, када се претходни израз изједначи са нулом, и износи:ж

$$L_{1min} = L_{2min} = \frac{V_o(1 - D_{min})}{4I_{L1min} \cdot f_{min}} = 8.75 \mu\text{H} \quad (2.26)$$

Вредност струје прекидача ће бити максимална када су улазна и излазна струја максималне, тј. при максималној вредности duty cycle-а, или, другим речима, при минималној вредности улазног напона:

$$D_{max} = \frac{V_o}{V_{imin} + V_o} = 0.5714 \quad (2.27)$$

Поред тога, треба анализирати случај са минималном прекидачком учестаношћу, јер се тада има максимални рипл струје пригушнице за дате вредности напона и duty cycle-а:

$$I_{Smax} = I_{imax} + I_{omax} + \frac{\Delta I_{L1}(D_{max})}{2} + \frac{\Delta I_{L2}(D_{max})}{2} = \frac{I_{omax}}{1 - D_{max}} + \frac{V_o(1 - D_{max})}{2f_{min}L} = 3.644 \text{ A} \quad (2.28)$$

Из израза (2.21) види се да ће напон на прекидачу бити максималан при максималној вредности улазног напона претварача. Максимални напон на прекидачу, уз занемарење рипла напона на кондензаторима, има вредност:

$$V_{Smax} = V_{imax} + V_o = 27 \text{ V} \quad (2.29)$$