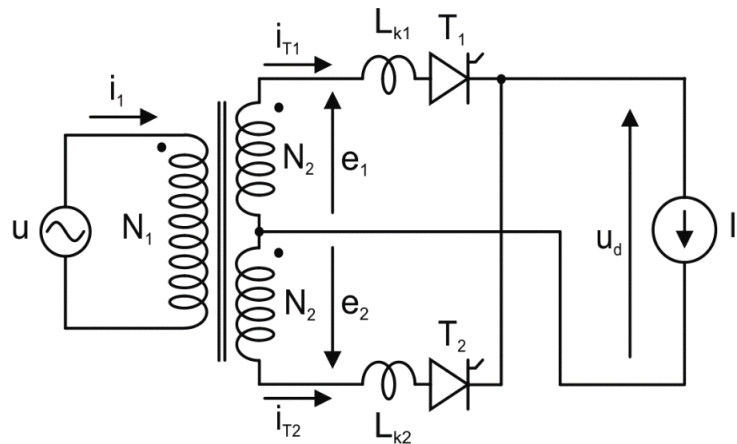
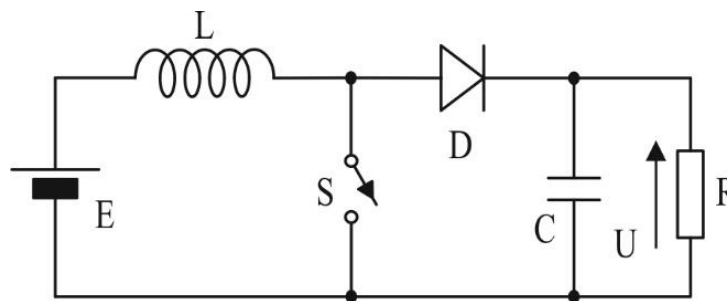


1. Двофазни једностранни исправљач је прикључен на мрежу  $u = U\sqrt{2} \sin(\omega t)$  преко тронамотајног трансформатора преносног односа  $N_1 : N_2 : N_2$  (Слика 1.). При комутацији је потребно уважити утицај индуктивности расипања секундарног и терцијарног намотаја, које су означене са  $L_{k1}$  и  $L_{k2}$ , респективно, при чему важи да је  $L_{k2} = 1.1 \cdot L_{k1}$ . Угао паљења тиристора је једнак  $\alpha$ , док се оптерећење може представити струјним понором  $I_d$ .

- Извести израз и скицирати таласни облик напона на оптерећењу.
- Извести израз за средњу вредност напона на оптерећењу.



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



Слика 2.

## РЕШЕЊЕ ЗАДАТКА 1.

---

У тренутку  $t = \frac{\alpha}{\omega}$  тиристор  $T_1$  добија сигнал за укључење и почиње да комутује заједно са тиристором  $T_2$ . Током комутације, струја оптерећења је једнака збиру струја кроз тиристоре  $T_1$  и  $T_2$ :

$$i_{T_1} + i_{T_2} = I_d. \quad (1.1)$$

Такође, за време комутације важи следећа једначина напонске равнотеже:

$$e_1 - L_{k1} \frac{di_{T_1}}{dt} = e_2 - L_{k2} \frac{di_{T_2}}{dt}, \quad (1.2)$$

$$e_1 - e_2 = L_{k1} \frac{di_{T_1}}{dt} - L_{k2} \frac{di_{T_2}}{dt}, \quad (1.3)$$

$$2e_1 = L_{k1} \frac{di_{T_1}}{dt} - L_{k2} \frac{di_{T_2}}{dt} = L_{k1} \frac{di_{T_1}}{dt} - L_{k2} \frac{d(I_d - i_{T_1})}{dt} = (L_{k1} + L_{k2}) \frac{di_{T_1}}{dt}. \quad (1.4)$$

Одавде се добија диференцијална једначина:

$$\frac{di_{T_1}}{dt} = \frac{2e_1}{(L_{k1} + L_{k2})}. \quad (1.5)$$

Узимајући у обзир услов  $i_{T_1}(t = \frac{\alpha}{\omega}) = 0$ , решење једначине (1.5) је:

$$i_{T_1}(t) = \frac{2E\sqrt{2}}{L_{k1} + L_{k2}} (\cos \alpha - \cos \omega t), \quad (1.6)$$

где је  $E = \frac{N_2}{N_1} U$ . Комутација траје до неког тренутка  $t = \frac{\beta}{\omega}$ , за који важи:

$$i_{T_1}(t = \frac{\beta}{\omega}) = I_d, \quad (1.7)$$

$$\frac{2E\sqrt{2}}{\omega(L_{k_1} + L_{k_2})} (\cos \alpha - \cos \beta) = I_d. \quad (1.8)$$

Следи:

$$\cos \beta = \cos \alpha - \frac{\omega(L_{k_1} + L_{k_2})}{2E\sqrt{2}} I_d. \quad (1.9)$$

Напон на оптерећењу током комутације биће једнак разлици напона  $e_1$  и папона на пригушници  $L_{k_1}$ :

$$u_d(t) = e_1 - L_{k_1} \frac{di_{T_1}}{dt}. \quad (1.10)$$

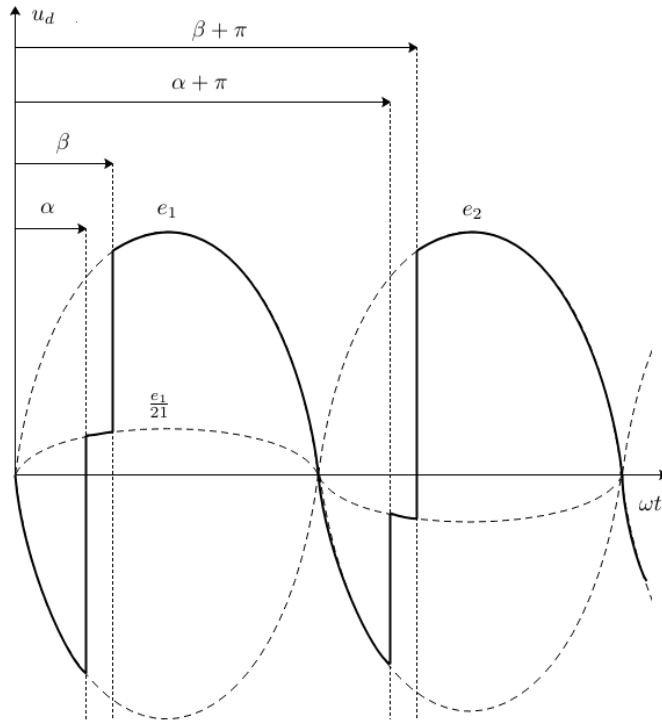
Израз за напон на пригушници се добија множењем израза (1.5) са  $L_{k_1}$ :

$$u_d(t) = e_1 - 2e_1 \frac{L_{k_1}}{L_{k_1} + L_{k_2}} = e_1 \left(1 - \frac{2L_{k_1}}{L_{k_1} + L_{k_2}}\right) = e_1 \frac{L_{k_2} - L_{k_1}}{L_{k_1} + L_{k_2}} = \frac{e_1}{21}. \quad (1.11)$$

Од тренутка  $t = \frac{\beta}{\omega}$  биће укључен тиристор  $T_1$ , а напон на оптерећењу ће бити једнак напону  $e_1$ , до тренутка  $t = \frac{\alpha + \pi}{\omega}$ , када тиристор  $T_2$  добија импулс за паљење, када почиње нова комутација. Израз за струју тиристора  $T_1$  током ове комутације добија се решавањем диференцијалне једначине (1.5), уз услов  $i_{T_1}(t = \frac{\alpha + \pi}{\omega}) = I_d$ :

$$i_{T_1}(t) = I_d - \frac{2E\sqrt{2}}{\omega(L_{k_1} + L_{k_2})} (\cos \alpha + \cos \omega t). \quad (1.12)$$

Комутација се завршава када струја  $i_{T_1}$  падне на нулу, а тиристор  $T_2$  преузме сву струју оптерећења, што ће се десити у тренутку  $t = \frac{\beta + \pi}{\omega}$ . Израз за напон на оптерећењу током ове комутације је идентичан изразу (1.11). Након завршетка комутације напон на оптерећењу је једнак напону  $e_2$ .



Слика 3. Таласни облик напона на оптерећењу

Средња вредност напона на оптерећењу је једнака:

$$U_d = \frac{1}{T} \int_{\frac{\alpha}{\omega}}^{\frac{\alpha+2\pi}{\omega}} u_d(t) dt = \frac{1}{T} \left( \int_{\frac{\alpha}{\omega}}^{\frac{\beta}{\omega}} \frac{e_1}{21}(t) dt + \int_{\frac{\beta}{\omega}}^{\frac{\alpha+\pi}{\omega}} e_1(t) dt + \int_{\frac{\alpha+\pi}{\omega}}^{\frac{\beta+\pi}{\omega}} \frac{e_1}{21}(t) dt + \int_{\frac{\beta+\pi}{\omega}}^{\frac{\alpha+2\pi}{\omega}} e_2(t) dt \right) \quad (1.13)$$

$$U_d(t) = \frac{2UN_2\sqrt{2}}{\pi N_1} \cos \alpha - 2.1 \frac{\omega L_{k1} I_d}{2\pi}. \quad (1.14)$$

## РЕШЕЊЕ ЗАДАТКА 2.

---

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  $E$ :

$$i_L = \frac{E}{L}t, \quad 0 < t < DT, \quad (2.1)$$

$D$  је *duty cycle*, а  $T$  је период рада претварача. Максимална вредност ове струје,  $I_L^{\max}$ , достиже се на крају интервала  $0 < t < DT$  у току којег је транзистор укључен.

$$I_L^{\max} = \frac{E}{L}DT = \frac{ED}{f_s L}. \quad (2.2)$$

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

$$Et_{on} + (U - E)t_{off} = 0 \Rightarrow U = \frac{E}{1 - D}. \quad (2.3)$$

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

$$D = 1 - \frac{E}{U} = 0.7. \quad (2.4)$$

Средња вредност улазне струје претварача је једнака средњој вредности струје пригушнице  $L$ . На основу закона о одржању енергије, а имајући у виду да су све компоненте идеалне, средња вредност струје пригушнице је:

$$EI_L^{\text{avg}} = UI_0 = \frac{EI_0}{1 - D} \Rightarrow I_L^{\text{avg}} = \frac{I_0}{1 - D}. \quad (2.5)$$

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

$$I_L^{avg} = \frac{I_L^{max}}{2} = \frac{ED}{2f_s L}. \quad (2.6)$$

На основу (2.4) и (2.5), средња вредност струје оптерећења у случају да претварач ради на граници прекидног режима је:

$$I_0 = \frac{ED(1-D)}{2f_s L} = 252 \text{ mA}. \quad (2.7)$$