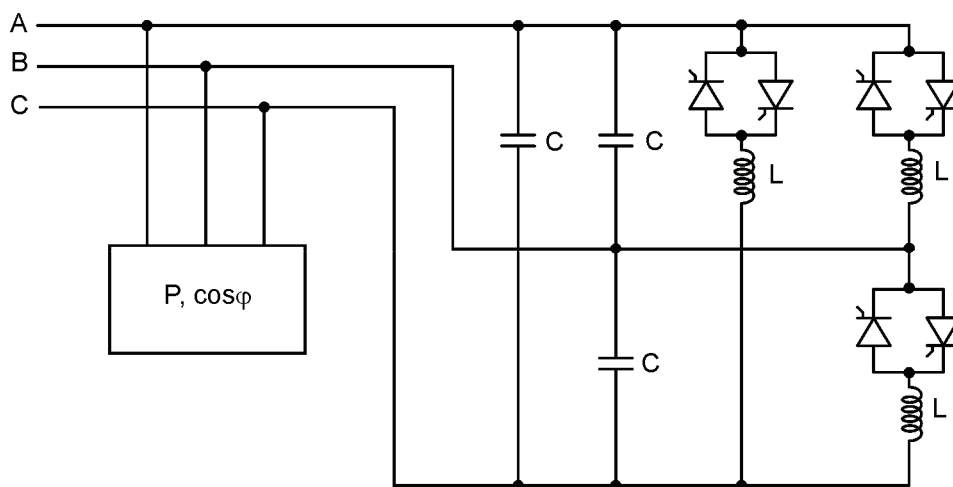
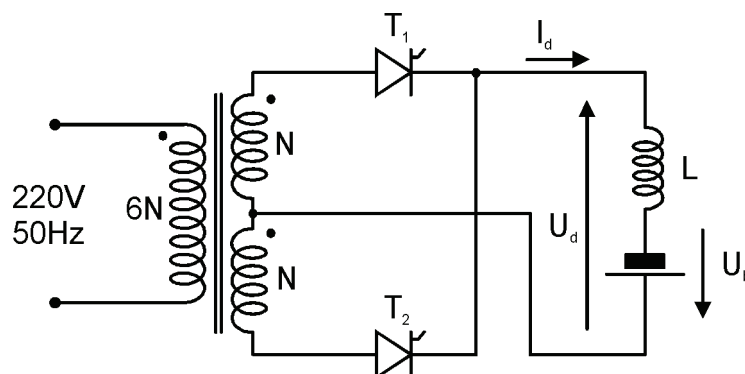


1. Потрошач снаге $P=200\text{ kW}$ и фактора снаге $\cos\varphi=0.8$ (инд.) прикључен је на мрежу $3 \times 380\text{ V}$, 50 Hz . У циљу компензације реактивне снаге, паралелно са потрошачем прикључена је батерија кондензатора капацитета $C=3000\text{ }\mu\text{F}$ и компензатор реактивне снаге који се састоји од трофазног фазног регулатора са индуктивним оптерећењем, као на слици. Претходно је само овај компензатор био прикључен на исту мрежу, и тада је при углу управљања $\alpha=90^\circ$, на његовим крајевима измерена реактивна снага $Q=353.5\text{ kVAr}$. Израчунати фактор снаге првог хармоника целог постројења за угао управљања $\alpha=100^\circ$.



2. Монофазни исправљач са трансформатором са средњом тачком треба да празни акумулаторску батерију напона $U_b=24\text{ V}$, струјом $I_d=100\text{ A}$, када је прикључен на градску мрежу напона $U=220\text{ V}$, као на слици. Индуктивност пригушнице L је довољно велика, да се може занемарити наизменична компонента струје батерије. Индуктивност расипања трансформатора је $L_k=0,1\text{ mH}$. Потребно време одмора одабраних тиристора је $t_o=500\text{ }\mu\text{s}$. Да ли су тиристоры добро одабрани?



1. задатак

Фактор снаге првог хармоника целог постројења дат је једначином:

$$\cos \varphi_1 = \frac{P}{\sqrt{(Q_{opt} - Q_C + Q_K)^2 + P^2}} \quad (1.1)$$

где су:

Q_{opt} - реактивна снага оптерећења,

Q_C - реактивна снага батерије кондензатора,

Q_K - реактивна снага компензатора

При том $\cos \varphi_1$ је индуктиван ако је $Q_{opt} - Q_C + Q_K > 0$, а капацитиван ако је $Q_{opt} - Q_C + Q_K < 0$.

Реактивна снага оптерећења је:

$$Q_{opt} = P \cdot \operatorname{tg} \varphi = 200 \text{ kW} \cdot 0.75 = 150 \text{ kVAr} \quad (1.2)$$

Реактивна снага батерије кондензатора је:

$$Q_C = 3\omega C U^2 = 3 \cdot 100\pi \cdot 3 \cdot 10^{-3} \cdot 380^2 = 408.281 \text{ kVAr} \quad (1.3)$$

Реактивна снага компензатора (трофазног фазног регулатора) дата је са:

$$Q_K = 3U I_1 \quad (1.4)$$

где је I_1 - ефективна вредност првог хармоника фазне струје компензатора.

Потребно је, дакле, одредити први хармоник фазне струје компензатора, тј. потребно је одредити први хармоник струје једног монофазног фазног регулатора (јер овај трофазни фазни регулатор може да се посматра као три монофазна).

Када проводи један од тиристора, важи једначина:

$$\sqrt{2}U \sin(\omega t) = L \frac{di_{T1,T2}}{dt} \quad (1.5)$$

Решење ове диференцијалне једначине је:

$$i_{T1,T2} = \frac{1}{L} \int \sqrt{2}U \sin(\omega t) \cdot dt + C = -\frac{\sqrt{2}U}{\omega L} \cos(\omega t) + C \quad (1.6)$$

Када проводи T_1 почетни услов је $i(\alpha) = 0$, а када проводи T_2 почетни услов је $i(\alpha + \pi) = 0$, тј.:

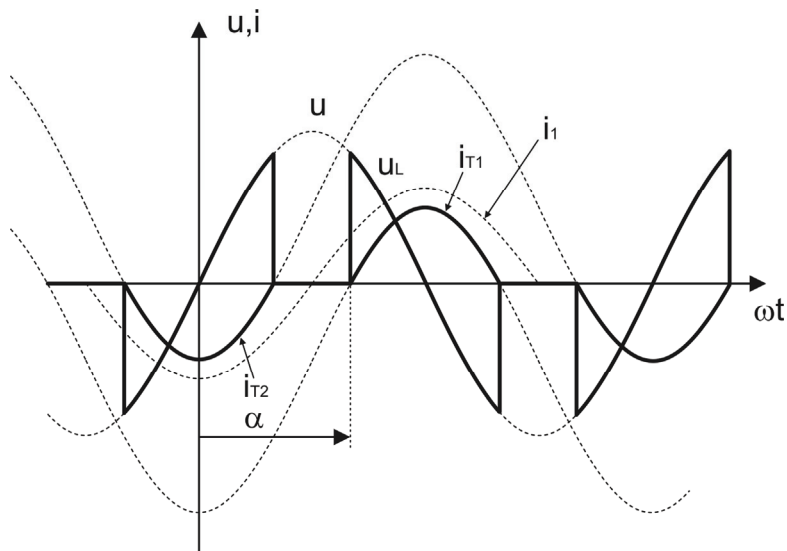
за i_{T_1} је

$$i_{T_1}(\alpha) = 0 \Rightarrow C = \frac{\sqrt{2}U}{\omega L} \cos \alpha \Rightarrow i_{T_1} = \frac{\sqrt{2}U}{\omega L} (\cos \alpha - \cos(\omega t)) \quad (1.7)$$

за i_{T_2} је

$$i_{T_2}(\alpha + \pi) = 0 \Rightarrow C = -\frac{\sqrt{2}U}{\omega L} \cos \alpha \Rightarrow i_{T_2} = -\frac{\sqrt{2}U}{\omega L} (\cos \alpha + \cos(\omega t)) \quad (1.8)$$

Струја фазног регулатора једнака је збиру струја појединих тиристора, што је приказано на доњој слици.



Струје појединих тиристора временски су померене за половину периоде мрежног напона и супротног су знака, што значи да су основни хармоници ових струја фазно померени за 180° и супротног су знака, што значи да су у фази. Због тога је основни хармоник струје једног монофазног фазног регулатора једнак двострукој вредности основног хармоника струје једног тиристора. Струју тиристора можемо представити Фуријеовим редом:

$$i(t) = I_{AVG} + \sum_{k=1}^{\infty} [a_k \cos(k\omega t) + b_k \sin(k\omega t)] \quad (1.9)$$

Пошто је таласни облик струје тиристора парна функција, сви коефицијенти уз синусни члан су једнаки нули ($b_k = 0$, ($k \in N$)). Даље је:

$$a_1 = \frac{\sqrt{2}U}{\pi\omega L} \cdot 4 \int_{\alpha}^{\pi} (\cos \alpha - \cos x) \cos x \cdot dx = \frac{4\sqrt{2}U}{\pi\omega L} \left[\int_{\alpha}^{\pi} \cos \alpha \cdot \cos x \cdot dx - \int_{\alpha}^{\pi} \cos^2 x \cdot dx \right] \quad (1.10)$$

$$\begin{aligned}
a_1 &= \frac{4\sqrt{2}U}{\pi\omega L} \left[\cos\alpha \int_{\alpha}^{\pi} \cos x \cdot dx - \int_{\alpha}^{\pi} \frac{1 + \cos 2x}{2} dx \right] \\
&= \frac{4\sqrt{2}U}{\pi\omega L} \left[-\sin\alpha \cdot \cos\alpha - \frac{\pi - \alpha}{2} - \frac{1}{4}(\sin 2\pi - \sin 2\alpha) \right] \\
&= \frac{4\sqrt{2}U}{\pi\omega L} \left[-\frac{\sin 2\alpha}{2} - \frac{\pi - \alpha}{2} + \frac{\sin 2\alpha}{4} \right] = \frac{2\sqrt{2}U}{\omega L} \left[-\frac{\sin 2\alpha}{2\pi} - \frac{\pi - \alpha}{\pi} \right] \\
&= -\frac{2\sqrt{2}U}{\omega L} \left[1 - \frac{\alpha}{\pi} + \frac{\sin 2\alpha}{2\pi} \right]
\end{aligned} \tag{1.11}$$

Ефективна вредност основног хармоника струје монофазног фазног регулатора је:

$$I_1 = \frac{|a_1|}{\sqrt{2}} = \frac{2U}{\omega L} \left[1 - \frac{\alpha}{\pi} + \frac{\sin 2\alpha}{2\pi} \right] \tag{1.12}$$

Потребно је још одредити индуктивност пригушнице, L . Њу одређујемо из услова да је при углу управљања 90° када је само компензатор био прикључен на мрежу, на крајевима компензатора измерена реактивна снага $Q = 353.5 \text{ kVAr}$. При углу управљања 90° , код фазног регулатора са чисто индуктивним оптерећењем, струја пригушнице постаје непрекидна, тј. имамо ситуацију као да је пригушница директно прикључена на мрежни напон. Због тога је реактивна снага која је измерена на крајевима компензатора при углу управљања 90° једнака:

$$Q = \frac{3U^2}{\omega L} = 353.5 \text{ kVAr} \tag{1.13}$$

Одавде је:

$$L = \frac{3U^2}{\omega Q} = 3.9 \text{ mH} \tag{1.14}$$

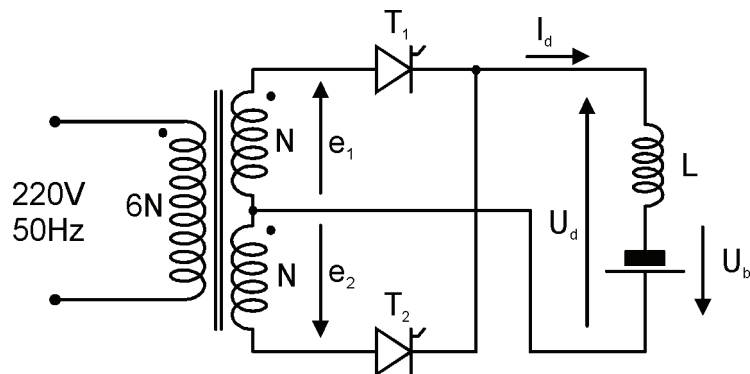
Сада је:

$$I_1 = 241.92 \text{ A} \quad \text{тј.} \quad Q_K = 3UI_1 = 275.79 \text{ kVAr} \tag{1.15}$$

па је коначно:

$$\cos \varphi_1 = \frac{P}{\sqrt{(Q_{opt} - Q_C + Q_K)^2 + P^2}} = \frac{200000 \text{ W}}{\sqrt{(17509 \text{ VAr})^2 + (200000 \text{ W})^2}} = 0.996 \text{ (ind)} \tag{1.16}$$

2. задатак



Пошто је средња вредност напона на пригушници у устаљеном стању једнака нули, средња вредност напона на излазу исправљача мора да буде једнака напону батерије, тј. с обзиром на усвојене референтне смерове:

$$U_d = \frac{2\sqrt{2}E}{\pi} \cos \alpha - \frac{X_k I_d}{\pi} = -U_b = -24 \text{ V} \quad (2.1)$$

Средња вредност напона на излазу исправљача је негативна, што значи да исправљач ради у инверторском режиму, тј. угао управљања тиристорима је већи од 90° .

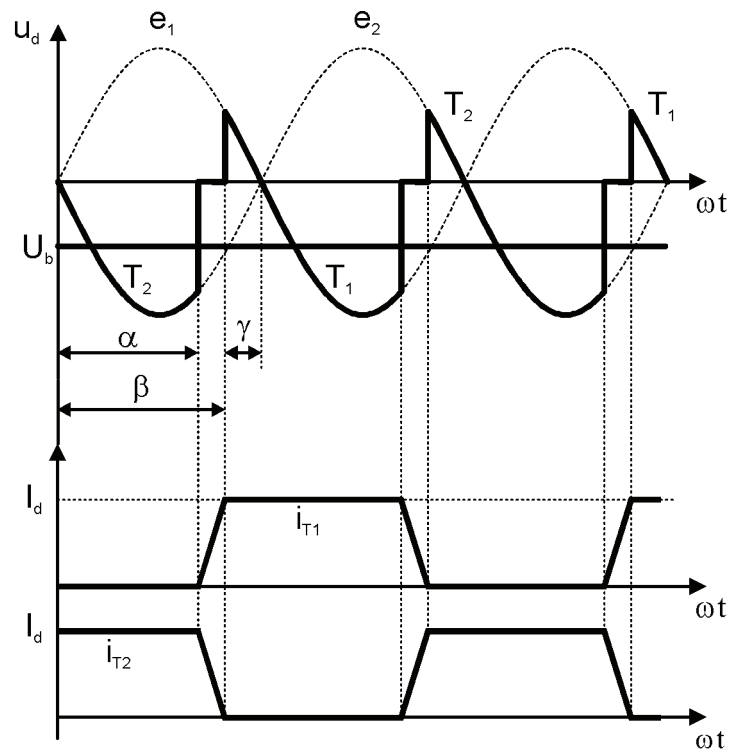
Сада треба одредити да ли је време инверзне поларизације тиристора при углу управљања, α , веће од потребног времена одмора тиристора, t_o . Ако јесте, тиристиори су добро одабрани. Потребно време одмора тиристора изражено у угловним јединицама је:

$$\gamma_o = \omega t_o = 100\pi [\text{rad/s}] \cdot 500 [\mu\text{s}] = 0.157 \text{ rad} = 9^\circ \quad (2.2)$$

Угао управљања добија се из (2.1):

$$\alpha = \arccos \left[\frac{\pi}{2\sqrt{2}E} \left(\frac{X_k I_d}{\pi} - U_b \right) \right] = 134.16^\circ \quad (2.3)$$

Одговарајући таласни облици приказани су на доњој слици:



У току комутације је:

$$L_k \frac{di_{T1}}{dt} = \sqrt{2}E \sin(\omega t) \Rightarrow L_k \int_0^{I_d} di_{T1} = \int_{\frac{\alpha}{\omega}}^{\frac{\beta}{\omega}} \sqrt{2}E \sin(\omega t) dt \quad (2.4)$$

тј.

$$\cos \beta = \cos \alpha - \frac{X_k I_d}{\sqrt{2}E} \quad (2.5)$$

Према таласном облику, важи:

$$\gamma = \pi - \beta \quad (2.6)$$

Из (2.5) следи да је:

$$\beta = 139.22^\circ \quad (2.7)$$

па је:

$$\gamma = 40.78^\circ > 9^\circ = \gamma_o \quad (2.8)$$

Тиристори су добро одабрани.