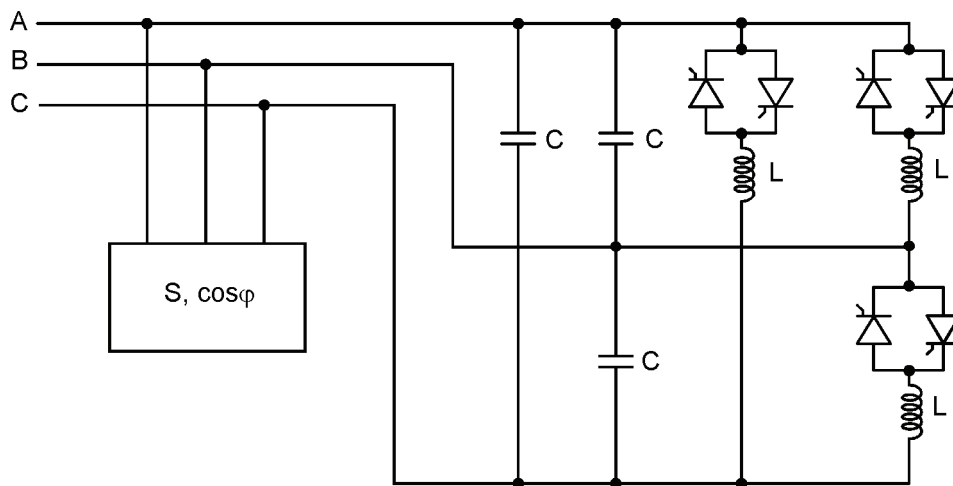
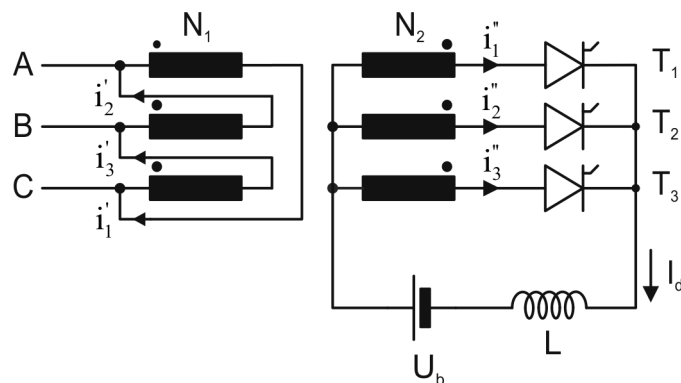


1. Потрошач чија је привидна снага $S = 1 \text{ MVA}$, а фактор снаге $\cos\varphi = 0.8$ (индуктивно) прикључен је на мрежу $3 \times 380 \text{ V}$, 50 Hz . У циљу компензације реактивне снаге, паралелно са потрошачем прикључена је батерија кондензатора и компензатор реактивне снаге који се састоји од трофазног фазног регулатора са индуктивним оптерећењем $L = 3.447 \text{ mH}$, као на слици. При углу управљања тиристорима, $\alpha = 90^\circ$, фактор снаге првог хармоника целог постројења био је једнак 1. Ако се привидна снага потрошача повећа на $S_1 = 1.3 \text{ MVA}$ а притом његов $\cos\varphi$ остане исти, колики треба да буде угао управљања да би фактор снаге првог хармоника целог постројења остао једнак 1 ?



2. Трофазни исправљач са слике треба да празни акумулаторску батерију напона $U_b = 108 \text{ V}$, струјом $I_d = 100 \text{ A}$, када је прикључен на градску мрежу напона $3 \times 380 \text{ V}$, 50 Hz , преко трансформатора са преносним односом $m = N_1/N_2 = 3.8$. Индуктивност пригушнице L је довољно велика, да се може занемарити наизменична компонента струје батерије. Индуктивност расипања трансформатора је $L_k = 0.5 \text{ mH}$. Потребно време одмора одабраних тиристора је $t_o = 600 \mu\text{s}$. Да ли су тиристори добро одабрани?



Испит траје 2 сата

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 потрошача,

Q_C - реактивна снага батерије кондензатора,

Q_K - реактивна снага компензатора

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

Реактивна снага оптерећења је:

$$Q_{opt} = S \cdot \sin \varphi = 1 \text{ MVA} \cdot 0.6 = 600 \text{ kVAr} \quad (1.2)$$

При углу управљања тиристорима, $\alpha=90^\circ$, фактор снаге првог хармоника целог постројења је (према услову задатка) једнак 1, тј. при углу управљања $\alpha=90^\circ$ важи:

$$Q_{opt} = Q_C - Q_K \quad (1.3)$$

При углу управљања од 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 компензатора при углу управљања тиристорима, $\alpha=90^\circ$, једнака:

$$Q = \frac{3U^2}{\omega L} = 400 \text{ kVAr} \quad (1.4)$$

То значи да је реактивна снага батерије кондензатора:

$$Q_C = Q_{opt} + Q_K = 1 \text{ MVA} \quad (1.5)$$

Када се привидна снага потрошача повећа на 1.3 MVA а притом његов $\cos \varphi$ остане исти, реактивна снага потрошача се повећа и износи:

$$Q_{1opt} = S_1 \cdot \sin \varphi = 1.3 \text{ MVA} \cdot 0.6 = 780 \text{ kVAr} \quad (1.6)$$

Да би фактор снаге првог хармоника целог постројења остао једнак 1, реактивна снага компензатора треба да буде:

$$Q_{1K} = Q_C - Q_{opt} = 220 \text{ kVAr} \quad (1.7)$$

Сада је потребно одредити угао управљања тиристорима који одговара овој реактивној снази компензатора.

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

$$Q_K = 3UI_1 \quad (1.8)$$

где је:

I_1 - ефективна вредност првог хармоника фазне струје компензатора.

Према томе, потребна ефективна вредност првог хармоника фазне струје компензатора је:

$$I_1 = \frac{Q_{1K}}{3U} = 192.98 \text{ A} \quad (1.9)$$

Сада је потребно одредити зависност првог хармоника фазне струје компензатора од угла управљања α , тј. потребно је одредити зависност првог хармоника струје једног монофазног фазног регулатора (јер овај трофазни фазни регулатор може да се посматра као три монофазна) од угла α .

Када проводи један од тиристора, важи једначина:

$$\sqrt{2}U \sin(\omega t) = L \frac{di_{T1,T2}}{dt} \quad (1.10)$$

Решење ове диференцијалне једначине је:

$$i_{T1,T2} = \frac{1}{L} \int \sqrt{2}U \sin(\omega t) \cdot dt + C = -\frac{\sqrt{2}U}{\omega L} \cos(\omega t) + C \quad (1.11)$$

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

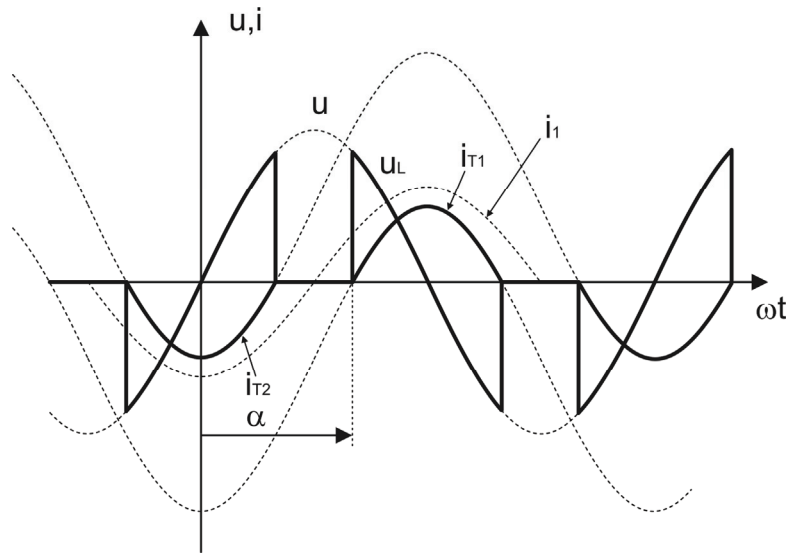
за i_{T1} је

$$i_{T1}(\alpha) = 0 \Rightarrow C = \frac{\sqrt{2}U}{\omega L} \cos \alpha \Rightarrow i_{T1} = \frac{\sqrt{2}U}{\omega L} (\cos \alpha - \cos(\omega t)) \quad (1.12)$$

за i_{T2} је

$$i_{T2}(\alpha + \pi) = 0 \Rightarrow C = -\frac{\sqrt{2}U}{\omega L} \cos \alpha \Rightarrow i_{T1} = -\frac{\sqrt{2}U}{\omega L} (\cos \alpha + \cos(\omega t)) \quad (1.13)$$

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:

$$i(t) = I_{AVG} + \sum_{k=1}^{\infty} [a_k \cos(k\omega t) + b_k \sin(k\omega t)] \quad (1.14)$$

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

$$a_1' = \frac{\sqrt{2}U}{\pi\omega L} \cdot 4 \int_{\alpha}^{\pi} (\cos \alpha - \cos x) \cos x \cdot dx = \frac{4\sqrt{2}U}{\pi\omega L} \left[\int_{\alpha}^{\pi} \cos \alpha \cdot \cos x \cdot dx - \int_{\alpha}^{\pi} \cos^2 x \cdot dx \right] \quad (1.15)$$

$$\begin{aligned} a_1 &= \frac{4\sqrt{2}U}{\pi\omega L} \left[\cos \alpha \int_{\alpha}^{\pi} \cos x \cdot dx - \int_{\alpha}^{\pi} \frac{1 + \cos 2x}{2} dx \right] \\ &= \frac{4\sqrt{2}U}{\pi\omega L} \left[-\sin \alpha \cdot \cos \alpha - \frac{\pi - \alpha}{2} - \frac{1}{4} (\sin 2\pi - \sin 2\alpha) \right] \\ &= \frac{4\sqrt{2}U}{\pi\omega L} \left[-\frac{\sin 2\alpha}{2} - \frac{\pi - \alpha}{2} + \frac{\sin 2\alpha}{4} \right] = \frac{2\sqrt{2}U}{\omega L} \left[-\frac{\sin 2\alpha}{2\pi} - \frac{\pi - \alpha}{\pi} \right] \\ &= -\frac{2\sqrt{2}U}{\omega L} \left[1 - \frac{\alpha}{\pi} + \frac{\sin 2\alpha}{2\pi} \right] \end{aligned} \quad (1.16)$$

a_1' - је амплитуда основног хармоника струје монофазног фазног регулатора.

Ефективна вредност основног хармоника струје монофазног фазног регулатора је:

$$I_1 = \frac{|a_1'|}{\sqrt{2}} = \frac{2U}{\omega L} \left[1 - \frac{\alpha}{\pi} + \frac{\sin 2\alpha}{2\pi} \right] = 192.98 \text{ A} \quad (1.17)$$

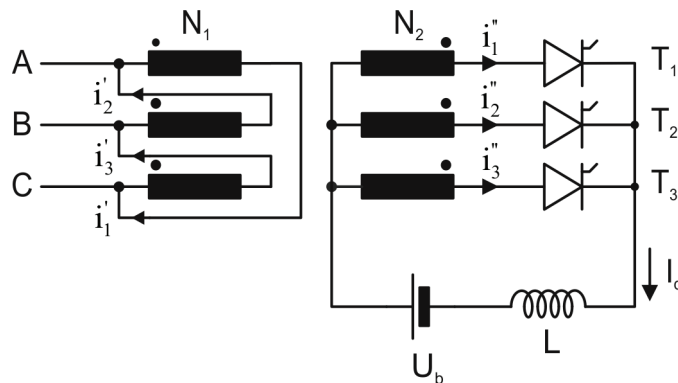
Из претходне једначине добија се трансцедентна једначина:

$$\sin(2\alpha) = 2\alpha - 4.5554 \quad (1.18)$$

чијим се решавањем добија:

$$\alpha = 3.8805 \text{ rad} \Leftrightarrow 111.17^\circ \quad (1.19)$$

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:

$$U_d = \frac{3\sqrt{6}E}{2\pi} \cos \alpha - \frac{3X_k I_d}{2\pi} = -U_b = -108 \text{ V} \quad (2.1)$$

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, тиристор су добро одабрани. Потребно време одмора тиристора изражено у угловним јединицама је:

$$\gamma_o = \omega t_o = 100\pi [\text{rad/s}] \cdot 600 [\mu\text{s}] = 0.1885 \text{ rad} = 10.8^\circ \quad (2.2)$$

Фазни напон на секундару трансформатора је:

$$E = \frac{U}{m} = 100 \text{ V}$$

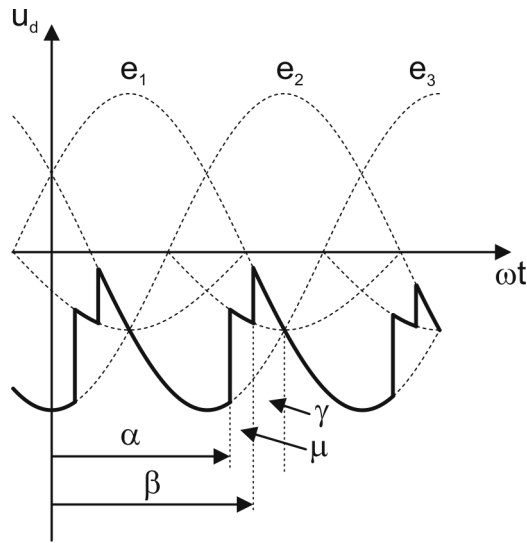
а комутациона импеданса је:

$$X_k = \omega L_k = 0.05\pi \Omega$$

Угао управљања добија се из (2.1):

$$\alpha = \arccos \left[\frac{2\pi}{3\sqrt{6}E} \left(\frac{3X_k I_d}{2\pi} - U_b \right) \right] = 149.24^\circ \quad (2.3)$$

Одговарајући таласни облици приказани су на доњој слици:



У току комутације је:

$$L_k I_d = \int_{\frac{\alpha}{\omega}}^{\frac{\beta}{\omega}} \frac{e_3 - e_2}{2} dt = \int_{\frac{\alpha}{\omega}}^{\frac{\beta}{\omega}} \frac{\sqrt{6}E}{2} \sin \omega t \cdot dt = \frac{\sqrt{6}E}{2\omega} (\cos \alpha - \cos \beta) \quad (2.4)$$

тј.

$$\cos \beta = \cos \alpha - \frac{2X_k I_d}{\sqrt{6}E} \quad (2.5)$$

Према таласном облику, важи:

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

Из (2.5) следи да је:

$$\beta = 170.95^\circ \quad (2.7)$$

па је:

$$\gamma = 9.05^\circ < 10.8^\circ = \gamma_o \quad (2.8)$$

Тиристори нису добро одабрани.