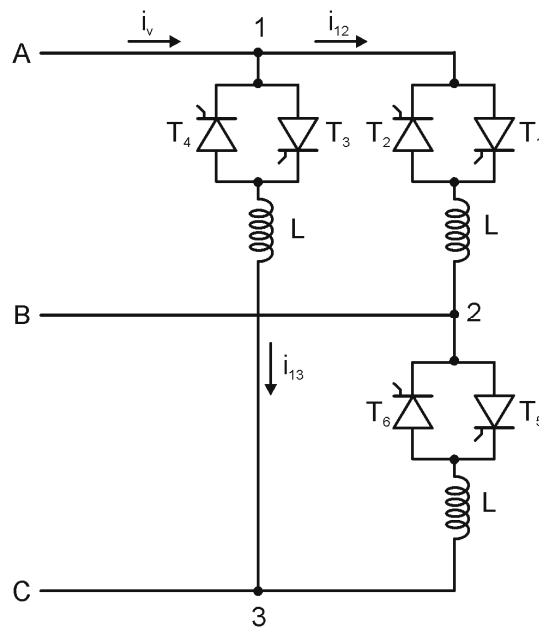
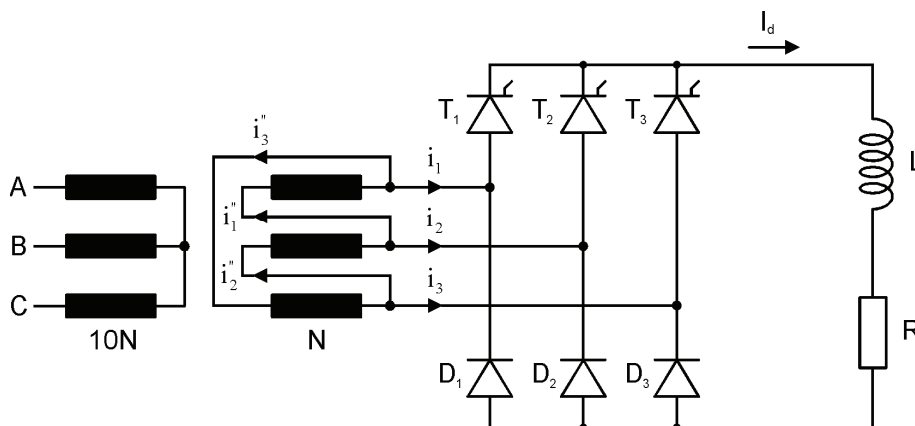


1. Регулација реактивне снаге у компензационом постројењу врши се трофазним фазним регулатором са индуктивним оптерећењем, који је прикључен на мрежни напон $3 \times 380\text{V}$, 50Hz , као на слици. При углу паљења тиристора $\alpha=90^\circ$, на крајевима регулатора измерена је реактивна снага $Q=90\text{kvar}$. Одредити укупну реактивну снагу првог хармоника за $\alpha=120^\circ$ и нацртати таласни облик струје i_v , приказане на слици.



2. Исправљач на слици прикључен је на мрежни напон $3 \times 380\text{V}$, 50Hz и ради у непрекидном режиму. При отпорности оптерећења $R=1\Omega$, измерена је струја оптерећења $I_d=14.82\text{A}$. Одредити ефективну вредност струје примара трансформатора. Индуктивност пригушнице L је довољно велика да се може занемарити наизменична компонента струје оптерећења.



Испит траје 2 сата

1. задатак

При углу паљења 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 при углу паљења тиристора, $\alpha=90^\circ$, важи:

$$Q = \frac{3U^2}{\omega L} = 90 \text{ kvar} \Rightarrow L = \frac{3U^2}{\omega Q} = 15.32 \text{ mH} \quad (1.1)$$

Трофазни фазни регулатор приказан на слици може се посматрати као три монофазна фазна регулатора, при чему је сваки повезан на линијски напон. Укупна реактивна снага компензатора (трофазног фазног регулатора) дата је са:

$$Q_K = 3UI_1 \quad (1.2)$$

где је:

I_1 - ефективна вредност првог хармоника фазне струје компензатора.

Према томе, потребно је одредити ефективну вредност првог хармоника струје једног фазног регулатора. Претходно је потребно одредити зависност првог хармоника фазне струје компензатора од угла паљења α , тј. потребно је одредити зависност првог хармоника струје једног монофазног фазног регулатора од угла α .

Када проводи један од тиристора, важи једначина:

$$\sqrt{2}U \sin(\omega t) = L \frac{di_{T_1, T_2}}{dt} \quad (1.3)$$

Решење ове диференцијалне једначине је:

$$i_{T_1, T_2} = \frac{1}{L} \int \sqrt{2}U \sin(\omega t) \cdot dt + C = -\frac{\sqrt{2}U}{\omega L} \cos(\omega t) + C \quad (1.4)$$

Посматрајући слику на следећој страни, може се закључити да када проводи T_1 почетни услов је $i(\alpha) = 0$, а када проводи T_2 почетни услов је $i(\alpha + \pi) = 0$:

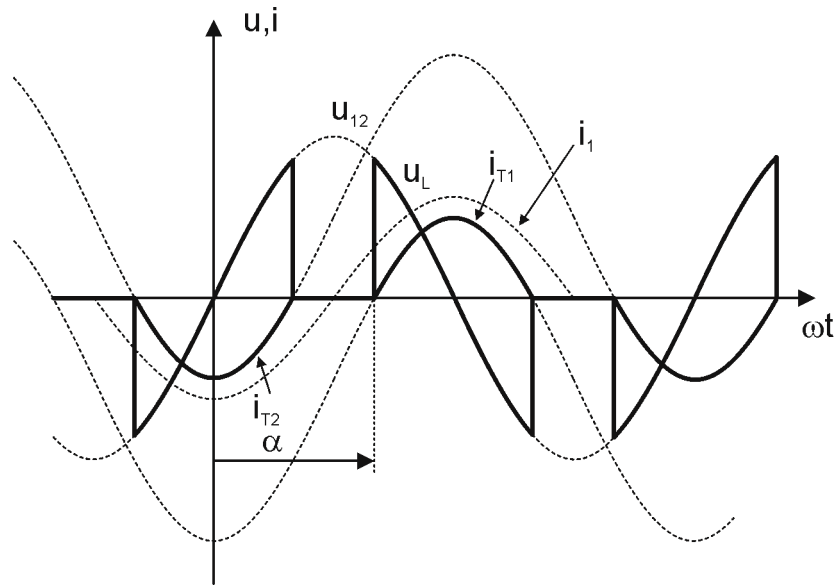
за i_{T_1} је

$$i_{T_1}(\alpha) = 0 \Rightarrow C = \frac{\sqrt{2}U}{\omega L} \cos \alpha \Rightarrow i_{T_1} = \frac{\sqrt{2}U}{\omega L} (\cos \alpha - \cos(\omega t)) \quad (1.5)$$

за i_{T_2} је

$$i_{T_2}(\alpha + \pi) = 0 \Rightarrow C = -\frac{\sqrt{2}U}{\omega L} \cos \alpha \Rightarrow i_{T_2} = -\frac{\sqrt{2}U}{\omega L} (\cos \alpha + \cos(\omega t)) \quad (1.6)$$

Струја фазног регулатора једнака је збиру струја појединих тиристора, што је приказано на следећој 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:

$$i(t) = I_{AVG} + \sum_{k=1}^{\infty} [a_k \cos(k\omega t) + b_k \sin(k\omega t)] \quad (1.7)$$

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

$$a_1' = \frac{\sqrt{2}U}{\pi\omega L} \cdot 4 \int_{\alpha}^{\pi} (\cos \alpha - \cos x) \cos x \cdot dx = \frac{4\sqrt{2}U}{\pi\omega L} \left[\int_{\alpha}^{\pi} \cos \alpha \cdot \cos x \cdot dx - \int_{\alpha}^{\pi} \cos^2 x \cdot dx \right] \quad (1.8)$$

$$\begin{aligned} a_1 &= \frac{4\sqrt{2}U}{\pi\omega L} \left[\cos \alpha \int_{\alpha}^{\pi} \cos x \cdot dx - \int_{\alpha}^{\pi} \frac{1 + \cos 2x}{2} dx \right] \\ &= \frac{4\sqrt{2}U}{\pi\omega L} \left[-\sin \alpha \cdot \cos \alpha - \frac{\pi - \alpha}{2} - \frac{1}{4} (\sin 2\pi - \sin 2\alpha) \right] \\ &= \frac{4\sqrt{2}U}{\pi\omega L} \left[-\frac{\sin 2\alpha}{2} - \frac{\pi - \alpha}{2} + \frac{\sin 2\alpha}{4} \right] = \frac{2\sqrt{2}U}{\omega L} \left[-\frac{\sin 2\alpha}{2\pi} - \frac{\pi - \alpha}{\pi} \right] \\ &= -\frac{2\sqrt{2}U}{\omega L} \left[1 - \frac{\alpha}{\pi} + \frac{\sin 2\alpha}{2\pi} \right] \end{aligned} \quad (1.9)$$

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

Ефективна вредност основног хармоника струје монофазног фазног регулатора при углу паљења $\alpha=120^\circ$ је:

$$I_1 = \frac{|a_1'|}{\sqrt{2}} = \frac{2U}{\omega L} \left[1 - \frac{\alpha}{\pi} + \frac{\sin 2\alpha}{2\pi} \right] = 30.87 \text{ A} \quad (1.10)$$

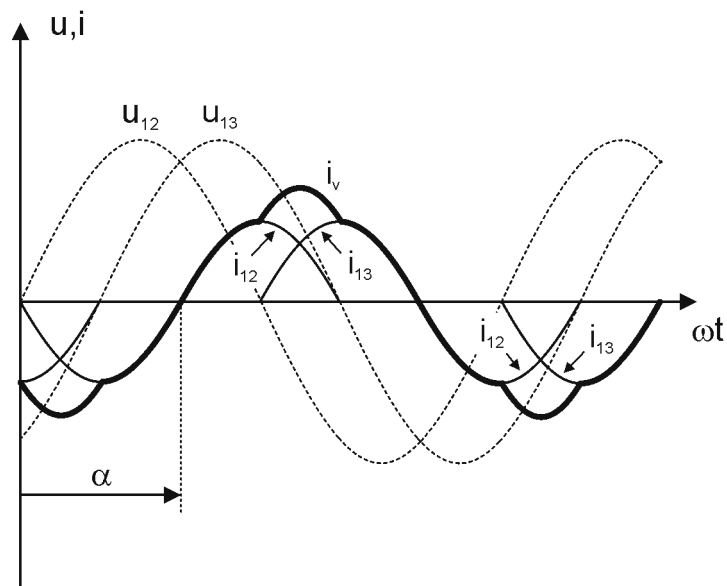
Па је укупна реактивна снага првог хармоника:

$$Q_K = 3UI_1 = 35.19 \text{ kvar} \quad (1.11)$$

Струја i_v у прикључном воду повезаном на фазу А, једнака је збиру струја фазних регулатора који су повезани на линијске напоне u_{12} и u_{13} :

$$i_v = i_{12} + i_{13} \quad (1.12)$$

С обзиром на то да линијски напон u_{12} фазно предњачи напону u_{13} за 60° , таласни облик струје i_v приказан је на следећој слици.



2. задатак

Да бисмо одредили ефективну вредност струје примара трансформатора, потребно је нацртати одговарајуће таласне облике, за шта нам треба угао паљења тиристора. Пошто је средња вредност напона на пригушници, у устаљеном стању, једнака нули, средња вредност напона на оптерећењу (отпорнику) једнака је средњој вредности напона на излазу исправљача (непрекидни режим). У поставци задатка је наведено да је индуктивност пригушнице L довољно велика да се може занемарити наизменична компонента струје оптерећења, што значи да је струја кроз оптерећење константна, и једнака количнику средње вредности напона на излазу исправљача и отпорности отпорника:

$$I_d = \frac{U_d}{R} = \frac{1}{R} \cdot \frac{3\sqrt{6}E}{2\pi} (1 + \cos(\alpha)) = \frac{1}{R} \cdot \frac{3\sqrt{6}U}{2\pi \cdot 10 \cdot 3} (1 + \cos(\alpha)) \quad (2.1)$$

где је:

E - фазни напон у колу секундара трансформатора.

Одавде је угао паљења:

$$\alpha = \arccos\left(\frac{20\pi R I_d}{\sqrt{6}U} - 1\right) = 90^\circ \quad (2.2)$$

Сада можемо да нацртамо одговарајуће таласне облике напона и линијских струја секундара. Ови таласни облици дати су на слици на следећој страни. Потребно је одредити струју кроз секундарне намотаје трансформатора. С обзиром на усвојене референтна смерове, важи:

$$\begin{aligned} i_1'' &= i_1 + i_3'' \\ i_2'' &= i_2 + i_1'' \end{aligned} \quad (2.3)$$

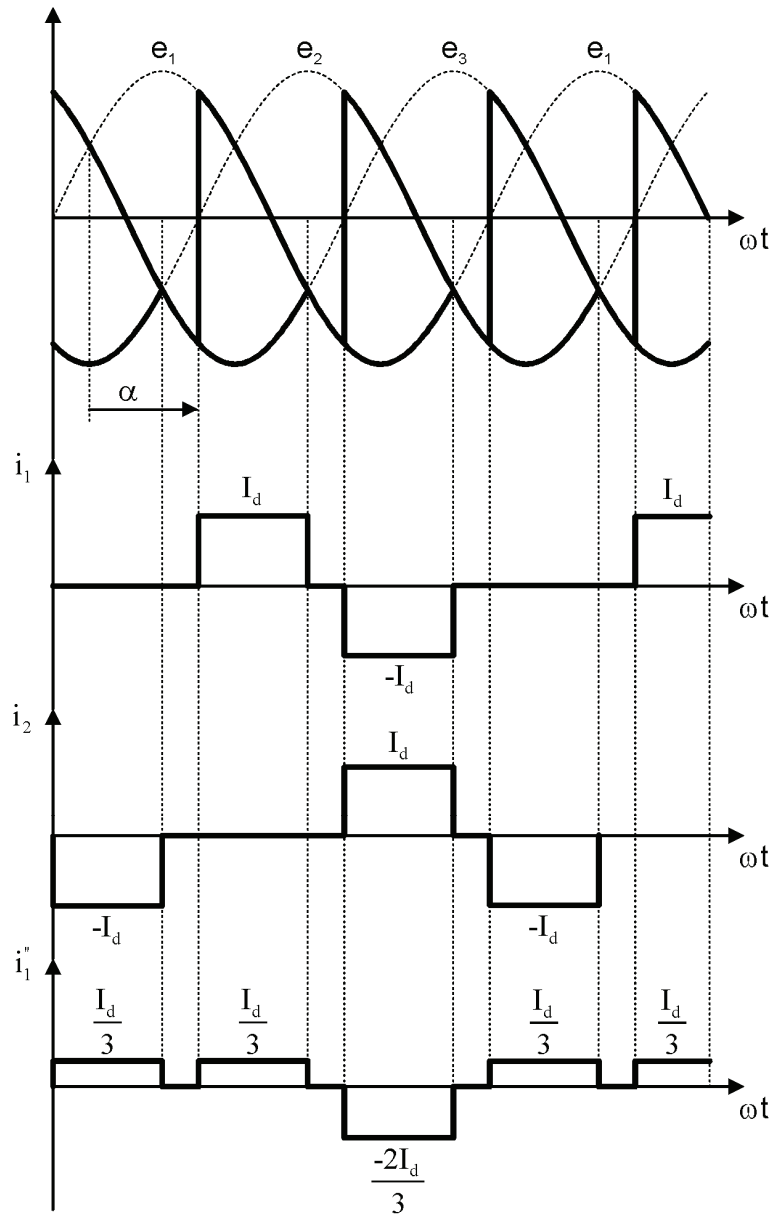
Осим тога, збир струја у троуглу једнак је нули:

$$i_1'' + i_2'' + i_3'' = 0 \quad (2.4)$$

На основу ових једначина добија се:

$$i_1'' = \frac{1}{3}(i_1 - i_2) \quad (2.5)$$

На основу чега се може нацртати таласни облик ове струје, што је приказано на слици на следећој страни.



Ефективна вредност струје кроз секундарне намотаје је (према горњој слици):

$$I'' = \sqrt{\frac{1}{T} \left(2 \cdot \frac{I_d^2 T}{9 \cdot 4} + \frac{4I_d^2 T}{9 \cdot 4} \right)} = \frac{I_d}{\sqrt{6}} = 6.05 \text{ A} \quad (2.6)$$

Ефективна вредност струје кроз примарне намотаје је:

$$I' = \frac{I''}{10} = 605 \text{ mA} \quad (2.7)$$