

ЕНЕРГИЙНА ЕФЕКТИВНОСТ НА МОЩНИТЕ ТИРИСТОРНИ ПРЕОБРАЗОВАТЕЛИ ЗА ИНДУКЦИОННО ТОПЕНЕ

Доц. д-р инж. Румен Димитров Каров, ТУ- София, Филиал Пловдив

The questions for the whole energy efficiency of converter consisting of controlled rectifier and autonomous inverter is almost not concerned in the literary researches of thyristor converters for induction melting of metals.

The most used converters for high frequency induction melting in the power range 0,16-1,6 MW realized with triphase bridge rectifier and bridge current inverter, giving power to induction furnace, are concerned in the article.

It is proposed a connection to be found between the angle β of current lead from the voltage in the output of the inverter and the angle φ of the current lag from the voltage in the input of the converter.

The parameters of the output range of the inverter are represented by the angle β , voltage $E_{0\alpha}$ and current $I_{0\alpha}$ of the controlled rectifier and a connection is found between $\tan\beta$ in the output and $\cos\varphi$ in the input of the converter.

Conclusions are made and several ways for increasing of the energy efficiency for the power thyristor converters are offered.

Преобразувателите за индукционно топене на метали, състоящи се от управляем токоизправител и автономен инвертор, са изследвани достатъчно подробно в [11, 2,3] с изключение на въпроса за енергийна ефективност в работен режим.

Преобразувателите, които се използват за индукционно топене на повишени честоти в обхвата на мощности над 100 kW са реализирани с трифазен мостов управляем токоизправител и най-често с мостов инвертор на ток, захранващ индукционна пещ с параметри R, L_T (фиг.1). Изходната верига на инвертора на ток представлява различни варианти на кондензаторно свързване на товара (паралелно, последователно-паралелно, паралелно-последователно, смесено), при които се осигурява изпреварване на изходния ток спрямо изходното напрежение на ъгъл β и съответно време за възстановяване t_q на инверторните тиристоры (фиг.2):

$$\beta = \beta_q = \cot g q = 2\pi F_{изк} t_q$$

Параметрите на товара се променят в широки граници, което налага нагряването на метала да започва при зарегулиран токоизправител на ъгъл α . Може да се счита, че регулировъчната характеристика на управляемия токоизправител в обхвата на регулиране е $\frac{E_{0\alpha}}{E_0} = \cos\alpha$, тъй като входната индуктивност L_ϕ на инвертора осигурява непрекъснат ток. В такъв случай ъгълът φ на изоставане на входния ток на токоизправителя от входното напрежение се определя от ъгъла α и може да се приеме, че $\varphi = \alpha$, следователно (фиг.3):

$$\cos\varphi = \cos\alpha$$

Енергийната ефективност на преобразувателя при различни режими може да се преценява и сравнява, ако се намери връзка между ъгъла β на изпреварване на тока спрямо напрежението на изхода на инвертора и ъгъла φ на изоставане на тока от напрежението на входа на преобразувателя:

Изходното напрежение и ток на инвертора на ток са:

$$(1) \quad \dot{U}_{\text{изх}} = U_{\text{изх}} e^{-j\beta} = \frac{E_{0\alpha}}{K \cos\beta} e^{-j\beta}$$

$$(2) \quad \dot{I}_{\text{изх}} = KI_{0\alpha},$$

където $E_{0\alpha} = KU_{\text{изх}} \cos\beta$

$$K = \frac{2\sqrt{2}}{\pi}$$

Параметрите на изходната верига на инвертора са :

$$(3) \quad \dot{Z}_{\text{изх}} = \frac{1}{K^2} \frac{E_{0\alpha}}{\cos\beta} \frac{1}{I_{0\alpha}} e^{-j\beta}$$

$$(4) \quad R_{\text{изх}} = \frac{1}{K^2} \frac{E_{0\alpha}}{I_{0\alpha}}$$

$$(5) \quad X_{\text{изх}} = \frac{1}{K^2} \operatorname{tg}\beta \frac{E_{0\alpha}}{I_{0\alpha}} = \frac{1}{\omega C_{\text{изх}}}$$

$$(6) \quad \operatorname{tg}\beta = \frac{K^2}{\omega C_{\text{изх}}} \frac{I_{0\alpha}}{E_{0\alpha}}$$

След заместване на $E_{0\alpha} = E_0 \cos\alpha$ се получава:

$$(7) \quad \operatorname{tg}\beta = \frac{K^2}{\omega C_{\text{изх}}} \frac{I_{0\alpha}}{E_0 \cos\alpha}$$

При използване на паралелна заместваща схема на изхода на инвертора, параметрите на изходната верига са :

$$(8) \quad G_{\text{изх}} = \frac{R_{\text{изх}}}{Z_{\text{изх}}^2} = \frac{1}{R_{\text{п}}}$$

$$\text{където } R_p = \frac{LT}{RTCT}$$

$$(9) \quad \text{Визх} = \frac{X_{\text{изх}}}{Z^2_{\text{изх}}} = \omega C_K$$

$$\text{където } C_K = C - C_T$$

За $\text{tg}\beta$ се получава

$$(10) \quad \text{tg}\beta = \sqrt{K^2 R_p \frac{I_{0\alpha}}{E_{0\alpha}} - 1}$$

В този израз β е в зависимост от R_p , но също зависи от отношението

$$\frac{I_{0\alpha}}{E_{0\alpha}} = \frac{I_{0\alpha}}{E_{0\alpha} \cos\varphi}$$

Следователно ако увеличаването на ъгъла β се поддържа в процеса на индукционното топене чрез повишаване на $\frac{I_{0\alpha}}{E_{0\alpha}}$ при зарегулиран токоизправител, енергийната ефективност на преобразувателя се влошава. Това се отнася особено за първоначалния етап на подгряване, когато токът $I_{0\alpha}$ има голяма стойност а напрежението $E_{0\alpha}$ се намалява чрез зарегулиране на токоизправителя.

Съотношението на активната и реактивна мощност на преобразувателя при зарегулиран токоизправител може да илюстрира енергийната ефективност в работен режим. Входната активна мощност на преобразувателя е:

$$(11) \quad P_{\text{вх}} = 3UI \cos\varphi$$

Ако приемем, че при зарегулирано напрежение $E_{0\alpha}$ токът $I_{0\alpha}$ се настройва до стойност I_0 както при незарегулиран токоизправител:

$$I_{0\alpha} = I_0$$

следва равенството :

$$(12) \quad 3U_{\phi} I_{\phi} \cos\varphi = E_0 \cos\alpha I_0,$$

откъдето пълната мощност е :

$$(13) \quad S_{\alpha} = 3U_{\phi} I_{\phi} = E_0 I_0$$

Полученото равенство показва, че при зарегулиран токоизправител преобразувателят консумира активна мощност:

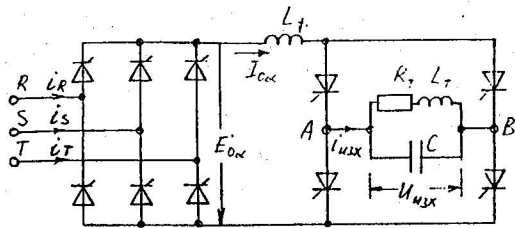
$P_{\alpha} = S_{\alpha} \cos \alpha = P_0 \cos \alpha$, пълната мощност на входа е равна на активната мощност при незарегулиран токоизправител P_0 , а реактивната мощност е $Q_{\alpha} = P_0 \sin \alpha$. При едно малко зарегулиране на токоизправителя от напрежение $E_0 = 515V$ до напрежение $E_{\alpha} = 450V$ ъгълът $\alpha = 30^{\circ}$, а реактивната мощност $Q_{\alpha} = 0,5P_0$.

Изводи :

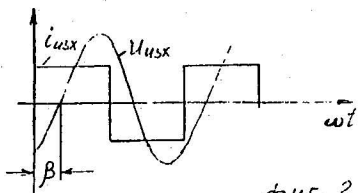
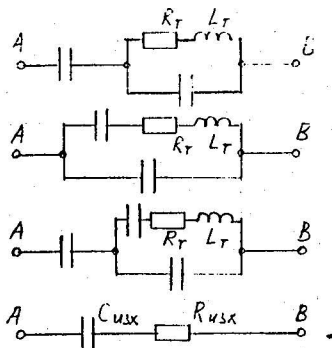
Енергийната ефективност на мощните тиристорни преобразуватели за индукционно топене може да се постигне при работен режим на токоизправителя с малки ъгли на регулиране $\alpha \approx 0$, което от изведените формули означава работен режим на инвертора с малки ъгли на изпреварване на изходния ток $\beta = \beta_q$ при гарантирано време за възстановяване на тиристорите.

Литература :

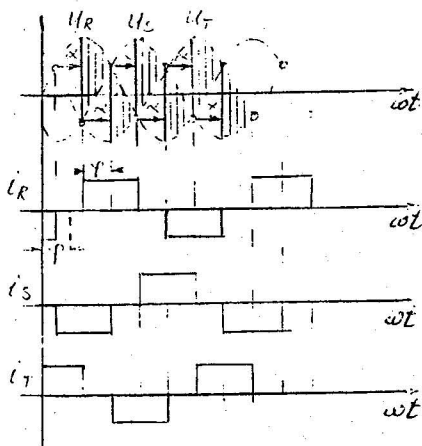
1. Беркович Е.И. и др. Тиристорные преобразователи повышенной частоты для электротехнологических установок, 1983
2. Nakaoka M., King L, New Efficient High Frequency Power Inverter with Inductive Energy Processing Loops, International Journal of Electronics 1990/01
3. М Симеонов, Д. Данков, Инвертор с единично-импулсно въздействие в уредба за топене на цветни метали, Сб. от конф. Созопол "Electronics 1998".



фиг. 1



фиг. 2



фиг. 3