

ДИНАМИКА НА ИНДУКЦИОННА НАГРЕВАТЕЛНА УСТАНОВКА С ТИРИСТОРНИ ПРЕОБРАЗОВАТЕЛИ

доц. ктн. Пани Андреев Карамански
инж. Антоанета Иванова Димитрова

ВЪВЕДЕНИЕ. Повишаването на изискванията към точността на поддържане на зададения температурен режим при процесите на индукционно нагриване определя необходимостта от широко внедряване на системи за автоматично регулиране (САР) с обратна връзка по температура на нагриваното тяло. Ефективността на такива системи е възможна само при добро познаване на статичните и динамични свойства на обекта на регулиране.

В статията се разглежда задачата за определяне на предавателната функция на обекта, представляващ последователно свързани управляем токоизправител (УТИ), паралелен инвертор на ток (ПИТ) и индуктор с нагривано тяло, като е взет конкретен процес на индукционно нагриване за повърхностна закалка.

ОПИСАНИЕ НА ОБЕКТА. Обектът е индукционна електротермична установка (ИЕТУ) за повърхностна закалка. Управляващи въздействия могат да бъдат отделената мощност на повърхността на тялото P_0 , свързана с функцията на разпределение на вътрешните източници на топлина и скоростта на придвижване на тялото в индуктора. В случая се разглежда варианта на управление по мощност при постоянна скорост на движение.

На фиг.1 са показани разрез и изглед отпред на системата индуктор - нагривано тяло (в случая индуктор - широка и дълга пластина, разположена вътре в него), а на фиг.2 - принципна схема на тиристорния преобразувател с индуктора. Приема се, че специфичното съпротивление на материала на пластината и магнитната проницаемост са еднакви по цялото сечение. В [1] са изведени основните съотношения за такава система и са получени изрази за еквивалентните активно и реактивно съпротивления на индуктора и електрическият му КПД.

ПРЕДАВАТЕЛНА ФУНКЦИЯ НА ОБЕКТА. Целта на САР на температурния режим е достигане на температурата на закаляване максимално бързо и точно без да се допускат прегряване на структурата или недостигане на желаната температура. На фиг.3а и 3б са дадени блок - схемите на цифрови САР, в които може да бъде включен нашият обект, като Θ_z и Θ_n са съответно зададената и измерената температури; α_γ - ъгъл на управление на токоизправителя; U_n и P_n напрежение и мощност на изхода на инвертора; $W_{p1}(p)$ и $W_{p2}(p)$ - предавателни функции на регулатора по температура и регулатора на напрежението на инвертора; $W_{ти}(p)$, $W_n(p)$, $W_p(p)$, $W_\Theta(p)$ - предавателни функции на ТИ, ПИТ, на звената $U_n \rightarrow P_n$ и $P_n \rightarrow \Theta_n$.

На схемата от фиг.3б е направено каскадно свързване на два регулатора - регулатор на напрежението на индуктора и регулатор по температура. В [2] е синтезирана предавателната функция по канала ъгъл на управление на изправителя α_γ - напрежение на изхода на инвертора така, че да се отчита реалната външна характеристика на изправителя.

Разглеждаме предавателната функция на обекта, включен в системата за автоматично регулиране от фиг.3а. Управляващо въздействие е α_γ при постоянен ъгъл на изпреварване на инвертора, а изходна величина - температурата на повърхността на нагриваното тяло. В [3] е получена предавателната функция при коефициент на топлоотдаване от повърхността на обекта $\beta \neq 0$. Тя има вида:

$$W_o(p) = K_{ти} \cdot e^{-p \cdot \tau} \cdot \frac{K_n}{1 + T_n \cdot p} \cdot K_D \cdot \sum_{n=1}^3 \frac{K'_n}{1 + T_n \cdot p},$$

където $W_o(p)$ е предавателната функция на обекта; $K_{ти}$, K_n и K_D са коефициентите на предаване на токоизправителя, инвертора и звеното $U_n \rightarrow P_n$; T_n - времеконстанта на инвертора; $\tau_{ти}$ - чисто закъснение на токоизправителя.

Ако $\beta \leq 0.01$ [4] топлоотдаването може да не се отчита при определени стойности на R . Ако $\beta = 0$.

звено в $W_o(p)$ се превръща в интегриращо и предавателната функция по канала отделена мощност - температура на повърхността добива вида:

$$W_o(p) = \frac{K_o}{p} + \sum_{n=1}^3 \frac{K'_n}{1 + T_n \cdot p}$$

където $K_o = \frac{a \cdot (1 - e^{-\alpha \cdot R})}{\lambda \cdot \alpha \cdot R}$; а и λ - коефициенти на

температуропроводност и топлопроводност; α - показател на затихване; $2R$ - дебелина на пластината.

Общата предавателна функция на обекта придобива вида:

$$W_o(p) = W_{Ti}(p) \cdot W_{\lambda}(p) \cdot W_p(p) \cdot W_o(p)$$

Предавателните функции $W_{Ti}(p)$, $W_{\lambda}(p)$ и $W_p(p)$ са получени в [3]. По метода на z - преобразуването се получава дискретната предавателна функция на обекта с екстраполатор от нулев порядък на входа. Тя е от вида:

$$W_o(z^{-1}) = \frac{b_1 \cdot z^{-1} + b_2 \cdot z^{-2} + b_3 \cdot z^{-3} + b_4 \cdot z^{-4} + b_5 \cdot z^{-5}}{1 + a_1 \cdot z^{-1} + a_2 \cdot z^{-2} + a_3 \cdot z^{-3} + a_4 \cdot z^{-4} + a_5 \cdot z^{-5}}$$

ПРЕХОДНИ ХАРАКТЕРИСТИКИ И КОЕФИЦИЕНТИ НА ПРЕДАВАТЕЛНАТА ФУНКЦИЯ. На фиг.4а са дадени преходните характеристики на обекта при различни стойности на управляващото въздействие (ъгъла на токоизправителя) и различна дебелина на нагриваното тяло (съответно различни размери на индуктора). За по - голяма яснота на графиката е отбелязана отделената мощност на повърхността, която съответствува на дадения ъгъл на управление. Както се вижда, при увеличаване дебелината на нагриваното тяло при една и съща отделена мощност на повърхността, се увеличава времето за достигане на температурата на закаляване (напр.800°C - фиг. 4б). В табл.1 са дадени стойностите на коефициентите в числителя на цифровата предавателна функция в зависимост от дебелината на тялото и температурата, а в табл.2 - зависимостта на коефициентите на знаменателя на функцията от дебелината

на тялото. Вижда се, че коефициентите b_i се увеличават по абсолютна стойност с увеличаване на температурата, а при една и съща температура те са по - големи при телата с по - голяма дебелина. От тези таблици могат да бъдат получени коефициентите на най-подходящия цифров регулатор за определен диапазон на температурата и определена дебелина на нагриваното тяло. Изборът на такта на дискретизация за една част от регулаторите се прави в зависимост от стойността на началното значение на управляващата величина. Например при аperiодичните регулатори началното значение зависи само от сумата на коефициентите b_i . Така тактът на дискретизация може да бъде избран по максимално допустимата стойност на $u(0)$ за конкретната постановка. За тази цел в табл.3 са дадени стойностите на коефициентите на предавателната функция за определени R и α , за различни тактове на дискретизация T_0 .

ЗАКЛЮЧЕНИЕ. Получена е цифровата предава-телна функция по канала ъгъл на управление на токоизправителя - температура на повърхността на нагриваното тяло, като броят членове на безкрайния ред [4] е ограничен до три. Чрез тази предавателна функция са симулирани преходните характеристики на обекта. Изследвана е зависимостта на коефициентите на предавателната функция от дебелината на нагриваното тяло, температурата и такта на дискретизация с цел подходящ избор на цифров регулатор на температура - фиксиран или адаптивен в зависимост от конкретната постановка - размери на тялото и индуктора, диапазон на температурата и т.н.

ЛИТЕРАТУРА:

- 1.Сухоцкий А.Е. "Установки индукционного нагрева"
- 2.Карамански П., Ст.Денчев, А.Димитрова. "Цифрово регулиране в САР, включващи тиристорни преобразуватели", Втора национална научно - приложна конференция "Електронна техника'93", Созопол 1993 г.;

3. Карамански П., Ст. Денчев, А. Димитрова. "Установка за индукционно нагряване с тиристорни преобразуватели като обект в цифрова САР на температура", Научна конференция "Ден на радиото", София, 1994 г.;

4. Коломейцева М. "О динамике систем регулирования движущимся объектом нагрева", Труд МЭИ. Электроника и автоматика, 1972, в. 140.

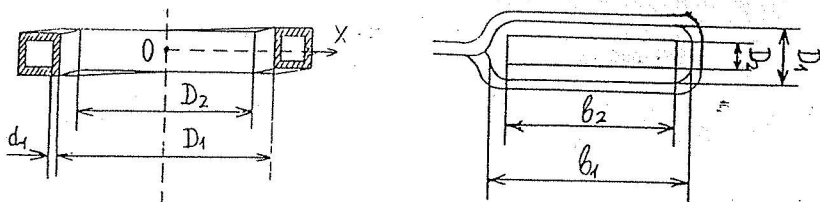
DYNAMICS OF THE INDUCTION HEATING EQUIPMENT WITH THYRISTOR CONVERTERS

Pany Andreev Karamanski
Antoaneta Ivanova Dimitrova

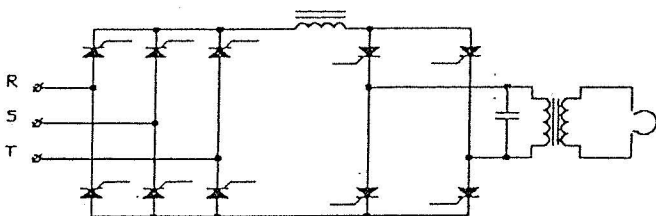
SUMMARY

The dynamic behaviour of the induction heating equipment with thyristor converters as an object in digital control systems of temperature is described. The objects consist of a controlled bridge rectifier, a parallel current inverter and a workcoil. The temperature on the surface of the workpiece is the output variable and the firing angle of the rectifier is the reference variable. The digital transfer function is received for a concrete induction heating process. The dependence of the transfer function parameters from the size of the workcoil and the workpiece, the temperature and the sample period, is evaluated.

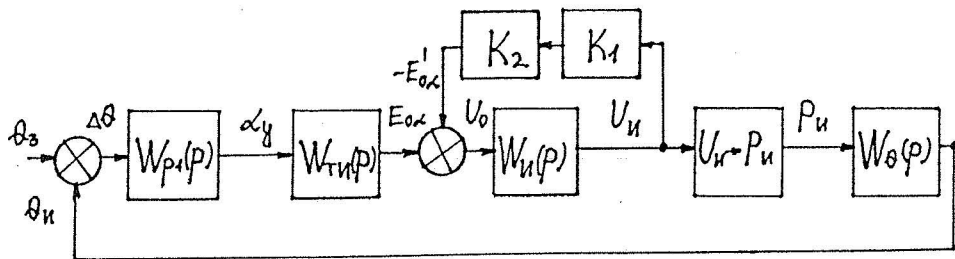
The aim of this research is to realize the dynamic of the object so that the right digital regulator of the temperature, to be chosen.



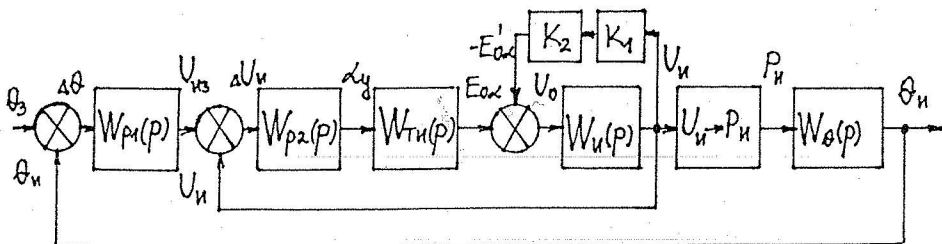
Фиг. 1. Система индуктор-нагревано тяло.



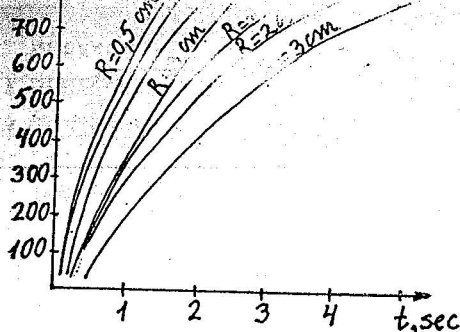
Фиг. 2. Принципна схема на установката за закаляване.



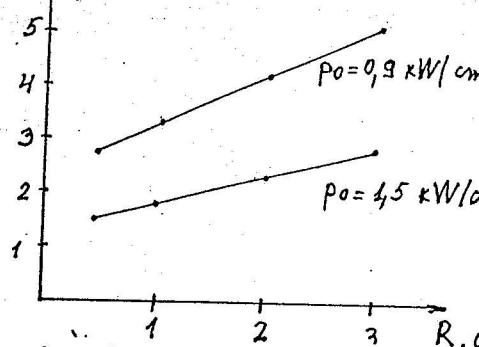
Фиг. 3а. Цифрова САР на температурата.



Фиг. 3б. Каскадно свързване на регулаторите по напрежение и температура



Фиг. 4а. Преходни характеристики



Фиг. 4б. Зависимост на времето за достигане на температура 800 C от дебелината на тялото

R, cm	$\theta, ^\circ\text{C}$	b_1	b_2	b_3	b_4	b_5
3	60	0,0763	-0,2218	0,213	-0,0659	-0,0017
3	700	0,1045	-0,3192	0,307	-0,0911	-0,0022
0,5	60	0,2835	-0,419	0,16	-0,012	-0,0003
0,5	700	0,3393	-0,4809	0,1724	-0,0117	-0,0004

Табл. 1.

R, cm	a_1	a_2	a_3	a_4	a_5
0,5	-2,2313	1,6209	-0,4171	0,0275	0
1	-3,2729	3,9593	-2,0937	0,4073	0
1,5	-3,6378	4,9471	-2,9802	0,6709	0

Табл. 2.

T_0, sec	0,1	0,2	0,5	1
b_1	0,2835	0,497	0,9691	1,5499
b_2	-0,419	-0,5312	-0,6627	-0,6944
b_3	0,16	0,1006	0,0294	0,0073
b_4	-0,012	-0,0016	-0,00002	0
b_5	-0,0003	-0,000009	0	0
a_1	-2,2313	-1,7368	-1,2831	-1,0769
a_2	1,6209	0,8209	0,2847	0,0769
a_3	-0,4171	-0,0848	-0,0016	-0,000002
a_4	0,0275	0,00076	0	0
a_5	0	0	0	0

Табл. 3.