

УРЕДБА ЗА ИНДУКЦИОННО ЗАПОЯВАНЕ С ТРАНЗИСТОРЕН АВТОНОМЕН ИНВЕРТОР

г-р.инж. НИКОЛАЙ ДИМИТРОВ МАДЖАРОВ

Технически Университет - Габрово

5300 Габрово, България

ул.Хаджи Димитър 4

E-mail: madjarov@tugab.bg

Тел: 0035966223557, Фax: 003596624856

The paper presents a high-frequency transistor invertor for induction soldering with silver composition. The operation modes of the power supply have been described and analyzed. The precise determining of the circuit elements has been confirmed by the diverse computer aided and real experiments performed. All that has enabled the prognostication and the setting of the control algorithm, which determines unambiguously the operation mode of the inverter. In order to ensure zero current in turning on and off the switching devices, the following is obligatory: selection of a certain relationship of the frequencies ω_{CK}/ω (ω_{CK} -natural frequency of the equivalent circuit, ω -control frequency), maintaining the resonance of the tank circuit and following fixed dephasing of the alternating current and the voltage of the tank circuit. In the research process the last factor has turned into a basic requirement to the control system and has been specified. The attention is directed to the cases with low-ohmic loads which are inductors with a little number of windings. The results of the operation of an experimental model have been presented.

1. Въведение

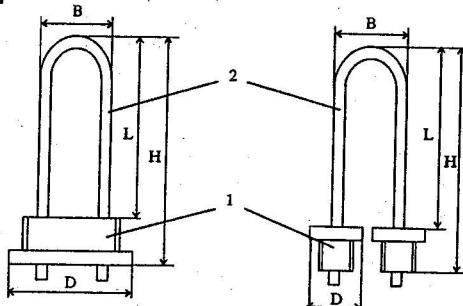
В доклада се разглежда инженерно-внедрителска задача, свързана с индукционно запояване на съставните части на електрически нагреватели за битови и промишлени водонагревателни устройства. Решаването на проблемите, които поставя този технологичен процес изисква да се отговори най-точно на следните въпроси: избор на подходящи припой, флок, конструкция на индуктора, мощност и работна честота на източника на високочестотна енергия. В съответствие с това са представени резултатите от проектирането и конструирането на системата „индуктор-метал“ и на самия високочестотен преобразувател.

2. Описание и проектиране на технологичния обект

Методът на индукционното запояване има редица предимства, в сравнение с пламъчните и тези с индиректно нагряване, обуславящи широкото му внедряване в практиката. Той е краткотраен процес и притежава следните предимства:

- частично загряване, ограничено върху мястото на запояване;
- структурата и якостта на съседните участъци не се променя;
- намален разход на ел.енергия;
- намален разход на припой.

Технологичната задача предвижда запояване на гва вида електрически нагреватели - фиг.1 и фиг.2, с основни размери, посочени в табл.1. Мястото на запояване е между основата -1, изработена от месинг или хромникел и самия ел.нагревател - 2 (фиг.1, фиг.2). При запояване на детайли с доста различни геометрични размери, както е в случая, с цел изравняване температурата на съставните им части и припоя, се препоръчва нагряване със скорост $5^{\circ}\text{C}/\text{сек}$. От тези съображения е избрана работната честота и конструкцията на индуктора[1,2,3]..



фиг.1

фиг.2

С не по-малка важност за получаване на добър технологичен резултат, е използването на подходящи припой и флос. От съществуващата гама сребърни припои, изборът се прави по следните критерии - температура на топене 700°C , химичен състав осигуряващ леко разливане по запояваните детайли, да има достатъчно висока здравина и пластичност.

Флосът се използва за химическо почистване и подобряване условията за проникване на разтопения припой в зоната на запояване. Основни изисквания към него са: при температурата на запояване да има достатъчна тънколивкост; да спомага за формиране на шева и леко да се отделя след запояването; остатъците от флоса не трябва да оказват окисляващо въздействие върху запояваните детайли.

Въз основа на тези параметри и изисквания е извършено електрическо проектиране на системата „индуктор-метал“[1,2]. Като допълнителни входни данни могат да се посочат времето за нагряване - 2 мин. и работната температура на използвания сребърен припой - 700°C . Сведение за геометричните размери на нагревателите,

както и основните електрически параметри на индукторите са представени в табл.1.

табл.1

| номер на запоявания нагревател /фиг. | 1/фиг.1 | 2/фиг.1 | 3/фиг.2 | 4/фиг.2 |
|--------------------------------------|---------|---------|---------|---------|
| D, mm | 65 | 50 | 20 | 15 |
| B, mm | 34 | 28 | 40 | 30 |
| L, mm | 170 | 120 | 150 | 125 |
| H, mm | 195 | 155 | 185 | 150 |
| тегло, kg | 0.3 | 0.25 | 0.2 | 0.1 |
| вид материал | месинг | месинг | месинг | месинг |
| време за запояване - t, min | 2 | 2 | 2 | 2 |
| брой навивки на индуктора - W | 7 | 7 | 7 | 7 |
| cos ф на товара | 0.076 | 0.072 | 0.057 | 0.055 |
| напрежение на товара - Ut, V | 100 | 100 | 100 | 100 |
| мощност - P, W | 3.01 | 2.98 | 2.9 | 2.87 |
| частота - f, kHz | 31 | 30 | 29.5 | 29 |

Конструкцията на индуктора е в съответствие с формата и размерите на запояваните детайли - корпус и електрически нагревател. От анализа на получените резултати и извършените практически експерименти се установи, че е възможна работа с голяма индуктори. Те са изработени от медна тръба $\Phi=6\text{mm}$. и имат следните размери. Цилиндричен гпусекционен индуктор - $D^I=70\text{mm}$, $H^I=35\text{mm}$, $W^I=4$ нав., $D^{II}=50\text{mm}$, $H^{II}=35\text{mm}$, $W^{II}=3$ нав. за ел. нагреватели 1 и 2 от фиг.1 и елипсовиден - $a=75\text{mm}$, $b=30\text{mm}$, $H=60\text{mm}$, $W=7$ нав. за ел нагреватели 2 и 3 от фиг.2 (а и в са съответно голямата и малката ос на елипсата).

3.Електрическо проектиране на източника на високочестотна енергия

Технологичният процес е твърде сложен и налага следните изисквания към източника на високочестотна енергия:

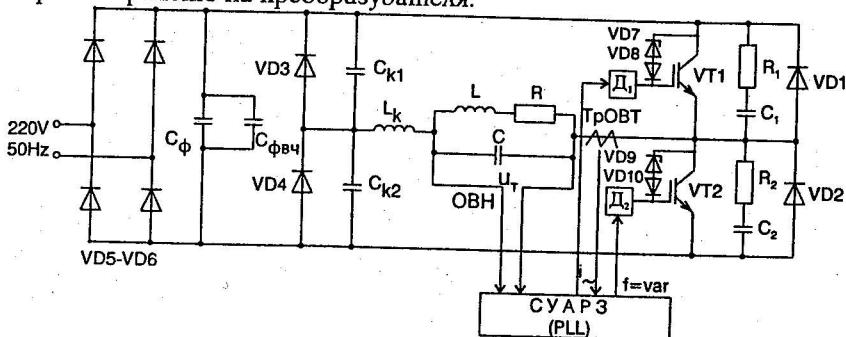
- възможност за работа при промяна на електрическите параметри в зависимост от вида на запоявания детайл и температурата;

- необходимост от бърза и лесна настройка при смяна на индукторите;

- осигуряване на постоянна мощност в процеса на нагряване с цел недопускане прегряване на приплът или на зоната на запояване.

Така формираният комплекс от изисквания и дадености успешно се реши чрез използване на автономен инвертор(АИ) с дозиране на енергията-фиг.2. Неговите свойства и характеристики са представени в [4,5] и са твърде подходящи при съгласуване с подобен

всички широкодиапазонни товари. Като се вземат под внимание свойствата, аналитичните съотношения и съображенията за избора на величините, с оглед осигуряване на оптимален импулс на тока през транзисторите и поддържане на неизменна мощност в товара, е използвана следната последователност на изчислителна процедура при проектирането на преобразувателя.



фиг.2

1) Задава се паузата между управляващите импулси на транзисторите $\phi_0 = 0,1\pi$.

2) Избира се стойността на отношението $\omega_{CK}/\omega = 1,2-1,4$.

3) Определя се фазовия ъгъл $\delta - \operatorname{tg}\delta > (1,2-1,4) \omega_{CK}/\omega$.

4) По зададените мощност и работна честота се изчислява комутацияния кондензатор C_K :

$$C_K = P/(E^2 f). \quad (1)$$

5) Разстройката, при която напрежението и тока през паралелния кръг ще имат фаза $-\psi$, се определя с израза:

$$\xi_0^2 = \frac{\operatorname{tg}\phi + \operatorname{ctg}\phi}{\operatorname{tg}\phi + \operatorname{tg}\psi}. \quad (2)$$

6) За избраната стойност на $\operatorname{tg}\delta$ и получената по (2) разстройка, се определят реалната и относителната стойности на еквивалентното съпротивление на товарния кръг

$$R_E = \frac{1}{\omega C_K \operatorname{tg}\delta} ; \quad R'_E = \frac{\xi_0^2 \operatorname{ctg}\phi}{(\xi_0^2 - 1)^2 + \operatorname{ctg}^2 \phi} \quad (3)$$

7) Стойността на паралелния кондензатор C се намира чрез обобщения параметър $a = C/C_K$ от израза за фазовия ъгъл δ , а именно

$$\operatorname{tg}\delta = \frac{a}{R'_E} + \operatorname{tg}\psi. \quad (4)$$

Кондензаторът C може да се определи още от израза

$$C = 1/(\xi_0^2 \omega^2 L_T).$$

8) От условието за резонанс на товарния кръг се определят необходимите еквивалентни параметри R_T и L_T .

$$L_T = \frac{1}{\xi_0^2 \omega C}, \quad R_T = \omega L c t g \varphi, \quad U_{Tm} = \frac{\sqrt{2 P R}}{\cos \varphi}. \quad (5)$$

9) Изчислява се комутиращата индуктивност L_K

$$L_K = \frac{Q R_E}{\omega}, \quad (6)$$

където

$$Q = \frac{1}{2} \left(\frac{1}{\omega_{CK}/\omega} \right)^2 [t g \delta + \sqrt{t g^2 \delta - (\omega_{CK}/\omega)^2}].$$

10) Въз основа на съотношението, изразяващо неизменната мощност в АИ, може да се намери средният ток, консумиран от захранващия източник:

$$P = E^2 C_K f = E I_0, \quad I_0 = E f C_K. \quad (7)$$

В табл.2 са приведени стойностите на пасивните елементи изграждащи инвертора както и тези на по-важните електрически и фазови величини, характеризиращи работата му. Необходимо е да се направи уточнението, че при проектирането точните стойности на работната честота са определени чрез итерации и са в съответствие с получаване на еднакви напрежения върху товара при проектирането на системата „индуктор-метал“ и на АИ, т.е. изпълнени са условията за съгласуване от една страна и от друга - осигуряване на минимални динамични загуби в транзисторите (режим ZCS). На практика това се осъществява от PLL система за управление, която следи и поддържа фазова разлика между тока и напрежението на товарния кръг, равна на паузата между управляващите импулси (0.1π).

табл.2

| номер на запоявания нагревател /фиг. | 1/фиг.1 | 2/фиг.1 | 3/фиг.2 | 4/фиг. 2 |
|---|---------|---------|---------|-------------|
| активно съпротивление на товара - R_t, Ω | 0.018 | 0.015 | 0.01 | 0.011 |
| индуктивност на товара - $L_t, \mu H$ | 1.2 | 1.13 | 1.02 | 1.076 |
| $\cos \varphi$ на товара | 0.076 | 0.072 | 0.057 | 0.055 |
| компенсиращ кондензатор - $C_s, \mu F$ | 25 | 25 | 25 | 25 |
| комутиращ кондензатор - $C_k, \mu F$ | 1.1 | 1.1 | 1.1 | 1.1 |
| комутираща индуктивност - $L_k, \mu H$ | 15 | 15 | 15 | 15 |
| захранващо напрежение, V | 300 | 300 | 300 | 300 |
| напрежение на товара - U_t, V | 100 | 100 | 100 | 100 |
| честота - f, kHz | 31 | 30 | 29.5 | 29 |
| мощност - P, W | 3.01 | 2.98 | 2.9 | 2.87 |

Анализът на резултатите от проектирането и проведените експерименти показва, че при смяна на индукторите и или запояваните детайли, като единствено средство за съгласуване се използва само

промяна на работната честота в диапазон 31-29 kHz. без да се налага превключване на реактивните елементи. Тази универсалност се оказа твърде важна от гледна точка на автоматизацията на целия технологичен процес.

Не се налага превключване и на комутращия кондензатор Ск, задаващ мощността на АИ. При запояване на детайли с по-малка маса от предходния, необходимото намаляване на мощността се осъществява чрез промяна на работната честота съгласно (1). Това, както беше, изяснено е в съответствие с условията за съгласуване и получаване на оптимален токов импулс през транзисторите. В представения алгоритъм на работа, определящ е режимът на работа, а мощността на АИ е следствие. С известни приближения може да се допусне, че чрез промяната на работната честота СУ едновременно осигурява условия за нормалната работа на АИ и необходимите технологични параметри за качественото протичане на технологичния процес.

4. Заключение

Извършената теоретична и експериментална работа позволи да се разработи технология и съответното технологично оборудване за индукционно запояване на електрически нагреватели за битови и промишлени водонагревателни устройства. Разработката обхваща три етапа - избор на подходящи припой и флюс, проектиране и конструиране на системата „индуктор-метал“ и избор и проектиране на високочестотния преобразувател. Получените добри резултати, при проведените изпитания на запоените електрически нагреватели на налягане и механични усилия, доказваха правилния подход както при решаване на технологична задача, така и при избора на тунда и проектирането на захранващия източник.

Литература

1. Слукоцкий А.Е., Индукторы, Ленинград, Машиностроение, 1989.
2. Слукоцкого А.Е. Установки индукционного нагрева, Л., Энергоиздат, 1981.
3. Конрад Х., Электротехнология, Техника 1990.
4. Маджаров Н.Д., Исследование и разработка на автономные инверторы с генерацией на энергию для электротехнологии, Автореферат на диссертация за получаване на образователна и научна степен „Доктор“, Габрово, 1997
5. Todorov T.S., Madgarov N.D., Alexiev D.T., Ivanov P.T., Adaptive Resonant Inverter for Electrothermics, Proceedings PCIM'95, Power Conversion, Nurnberg, Germany, 1995, pp. 379-391