

ТРАНСФОРМАТОРЕН ИНДУКЦИОНЕН НАГРЕВАТЕЛ ЗА ВОДА**TRANSFORMER INDUCTION WATER HEATER****Петър Томчев Иванов***

ТУ - Габрово

Райна Георгиева Иванова

ТУ - Габрово

Статията е постъпила на 14.10.2013 г.; приета за отпечатване на 15.10.2013 г.

Abstract

The present report focuses on submersible transformer induction heater for liquids and in particular for water, operating directly from the power supply grid. The proposed heat exchanger design provides both a relatively large contact area with the liquid (efficient heating) and high $\cos \varphi$ transformers induction heater.

Keywords: transformer induction heater; fluid heater; water induction heating; highly effective; power supply.

ВЪВЕДЕНИЕ

В съвременния живот, за загряването на течности и особено на вода, масово се използват електро-съпротивителни нагреватели. Основната предпоставка за това е тяхната ниска цена, простота и, за конкретния случай, висока ефективност. Въпреки това, технология като индукционното нагряване е с доказани предимства спрямо електросъпротивителното, дори и при нагряване на течности. В конкретния случай основното предимство на индукционното нагряване - директен нагрев - отсъства, но остават важни предимства като:

- Възможност за отдаване на значително по-голяма специфична мощност, следователно висока скорост на загряване.
- Лесно постигане на голяма контактна площ на нагредения метал с течността, следователно бързо достигане до зададената температура на водата, при това при по-ниска температура на топлообменника.
- Минимизиране на отлагачите се върху нагревателя соли, котлен камък и други образувания, поради възможността за работа при по-ниска температура на топлообменника.

Поради тези предимства, в последно време, както в научен, така и в приложен аспект, се наблюдава тенденция за разработване на индукционни нагреватели за течности.

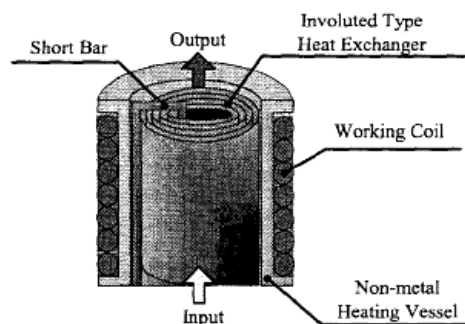
Обект на настоящата статия е потопяем индукционен нагревател за вода, работещ директно на мрежова честота (50 или 60 Hz).

ИЗЛОЖЕНИЕ

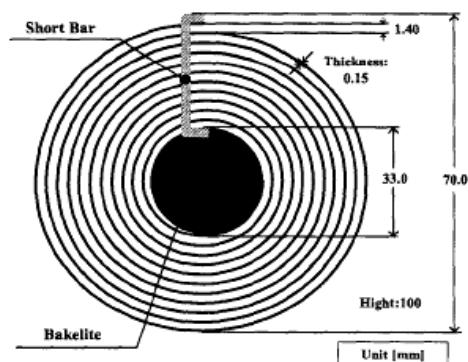
За постигане на висока ефективност на нагряване и на посочените по-горе предимства на индукционния нагревател, много важно условие е конструкцията на топлообменника да осигурява голяма контактна площ с водата. Друго важно условие е пълната мощност S да не превишава много активната мощност P , следователно

но факторът на мощността и $\cos \varphi$ на системата индуктор-метал трябва да са максимално високи. В противен случай през индуктора ще тече излишно голям ток, изискващ по-голямо сечение на проводника. Ще е необходим и голям компенсиращ кондензатор.

Много ефективна конструкция на индукционен нагревател и на топлообменника му е показана на фиг. 1. а) и б). [1, 2]



Фиг. 1, а) Индукционен нагревател



Фиг. 1, б) Теплообменник

* Тел.: 066 827 227; e-mail: tomchev@tugab.bg

Топлообменникът представлява метална спирала, на която началото и край, отдолу и отгоре, са свързани с медни планки. Следователно се образува един токов контур за цилиндричния индуктор, разположен около спиралата. В центъра е поставена бакелизова пръчка. Така спиралата е механично по-стабилна и течността преминава само през нея. Показаната конструкция осигурява огромна контактна площ между метала и течността, като дебелината на водата е много малка. Това гарантира бързото и ефективно нагряване до температурата на спиралата.

Използването на спирален топлообменник води до значително повишаване на еквивалентната въздушна (водна) междина между индуктора и метала. Това в случая е съществен недостатък, тъй като $\cos \varphi$ значително намалява. По тази причина, разгледаната конструкция е неефективна за работа на мрежова честота и се използва само за високи работни честоти. Необходимостта от високочестотен захранващ източник сериозно усложнява и оскъпява цялостния нагревател и значително намалява надеждността му. Това го прави поне на този етап неконкурентен за масово приложение, примерно като нагревател за бойлер.

За постигане на висок $\cos \varphi$ е необходимо максимално натоварване на индуктора. Това може да се постигне като се комбинира вътрешно и външно едновременно нагряване на цилиндрични железни тръби с един и същ индуктор. Така индукторът е натоварен с два токови контура. Отдаваната от него активна мощност ще е сума от мощностите във всяка една от тръбите. Следователно, тя е приблизително два пъти по-голяма в сравнение с класически индуктор за вътрешно или за външно нагряване и има относително висок $\cos \varphi$. Такъв потопяем индукционен нагревател с комбинирано външно и вътрешно нагряване, който може да работи на мрежова честота е показан на фиг.2. [3]

Отчитайки ниската работна честота за директно съгласуване със захранващата мрежа, индукторът трябва да е достатъчно високоомен. Това означава, че независимо от конструкцията на нагревателя, индукторът ще има голям брой навивки и ще е многоредов.

Така реализиран индукционният нагревател, потопен във вода, има сравнително голяма отоплителна контактна площ, определена от вътрешните и външните стени на всяка от тръбите, но много по-малка в сравнение със спиралния топлообменник.

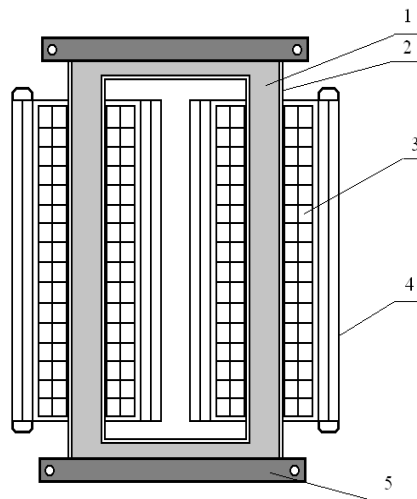


Фиг.2. Потопяем индукционен нагревател

За да се съчетаят основните предимства на разгледаните нагреватели, а именно много голяма контактна топлообменна площ и възможност за директно използване на мрежовото напрежение, предлагам използване на трансформаторно индукционно нагряване.

Устройството за трансформаторно индукционно нагряване (ТрИН) се свежда до специфичен мрежов трансформатор с класическа първична намотка W_1 и накъсо съединена вторична намотка W_2 , представляваща нагрявания топлообменник.

Общ вид на устройството е показан на фиг.3.

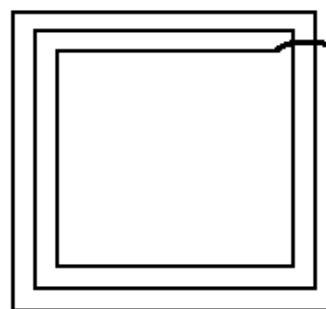


Фиг. 3. Общ вид на ТрИН

където:

- 1 – магнитопровод;
- 2 – термоизолация и защита на магнитопровода от контакт с водата;
- 3 – първична намотка W_1 ;
- 4 – топлообменник – вторична намотка W_2 ;
- 5 – укрепващи планки.

Топлообменникът представлява метална квадратна спирала, на която началото и край, отдолу и отгоре, са свързани на късо с медни планки, като се образува токов контур, представляващ вторичната намотка. Накъсо свързаната вторична намотка е с импеданс, определен само от собственото активно съпротивление на навития на спирала топлообменник и индуктивността на получената по този начин намотка. Желателно е топлообменникът да е изработен от неръждаем метал, примерно хром-никелова сплав. На фиг.4 е показана спиралата на топлообменника. В конкретния случай, тя е тройна, но в зависимост от мощността, геометричните размери и други специфични особености, може да е по-голяма или по-малка.



Фиг. 4. Топлообменник

Трансформаторният индукционен нагревател гарантира високоефективно прехвърляне на електромагнитната енергия от първичната намотка W_1 в нагривания метал W_2 .

От конструктивни съображения и за постигане на максимална площ на топлообменника е избрана „П” – образна форма на магнитопровода, с две последователно свързани бобини на първичната намотка и обхващащи ги две вторични намотки – два топлообменника – фиг. 3. Така се постига добър коефициент на връзката и коефициент на трансформация, следователно висока ефективност на нагриване и голям фактор на мощността.

Важно е да се отбележи, че отношението височина към широчина на трансформаторния индукционен нагревател трябва да е значително по-голямо в сравнение с класически мрежов трансформатор. Това за конкретното приложение дава две съществени предимства. В технологичен аспект, голямата височина позволява използване на дълги топлообменници, при което и с по-малко навивки на спиралата (по-лесна конструкция) се получава голяма контактна площ с водата.

Второто предимство е свързано с големия процент на обхващане на дължината на магнитопровода от първичната намотка и голямата дължина на препокриването и с вторичната. Това гарантира минимално разсейване на магнитен поток. Отчитайки този факт и като се има в предвид, че разглежданият трансформатор винаги работи на номинално натоварване (вторичните намотки са на късо съединени и са с постоянен импеданс), може да се твърди, че $\cos \varphi$ е много висок – 0,97-0,98. Следователно няма нужда от компенсиращ кондензатор.

Като се отчете факта, че всяка от двете вторични намотки представлява една навивка, индуцираният в топлообменника ток ще е приблизително n_1 пъти по-голям от тока на първичната намотка, където n_1 е броят на навивките на W_1 , а също е и коефициент на трансформация. Това гарантира високоефективно нагриване при захранване директно от мрежата.

Други големи предимства на предложения трансформаторен индукционен нагревател са простотата на съоръжението (трансформатор) и високата му надеждност.

Важен тласък за популяризирането на тези устройства за трансформаторно индукционно нагриване би дала една опростена методика за тяхното оразмеряване и конструиране.

Сходството на тези устройства с мрежов трансформатор позволява използването на много от известните и доказани на практика формули за оразмеряване на трансформатори. Основното различие е, че при ТРИН оразмеряването започва от вторичната страна.

От факта, че вторичната намотка на трансформатора представлява нагривания метал (топлообменника) следва, че активното съпротивление, пълният импеданс и др. параметри на вторичната страна на трансформатора се определят от формата, геометричните размери и материала на топлообменника.

- **Исходни данни за оразмеряване**

- геометрични размери на нагривания топлообменник.
- тип на материала на топлообменника.
- зададена мощност

- **Изчисляване на активното съпротивление на вторичната страна на трансформатора R**

Използва се израза:

$$R = \rho \cdot \frac{l}{s} \quad [\Omega] \quad (1)$$

където:

ρ – специфично съпротивление на материала;

l – дължина на спиралата;

s – сечение на материала;

$$s = H \cdot \Delta \quad [\text{m}^2] \quad (2)$$

където:

Δ – дебелина на метала.

- **Изчисляване на напрежението на вторичната страна на трансформатора U_2**

$$U_2 = \frac{\sqrt{P \cdot R}}{\cos \varphi} \quad [\text{V}] \quad (3)$$

Стойността на $\cos \varphi$ за такъв трансформатор е в диапазона 0,975.

С това вторичната страна е напълно определена, тъй като броят на навивките на вторичната намотка е известен и $W_2 = 1$.

- **Изчисляване на броя на навивките на първичната намотка W_1**

$$W_1 = \frac{U_1}{U_2} \quad [\text{нав}] \quad (4)$$

където:

$U_1 = 230 \text{ V}$ – мрежово напрежение

Първичната намотка се разпределя на две последователно свързани бобини, разположени на двете вертикални ядра на магнитопровода (фиг.3).

- **Изчисляване на сечението на магнитопровода Sm**

$$Sm = \frac{U_1}{k \cdot B \cdot f \cdot W_1} \quad [\text{m}^2] \quad (5)$$

където:

B – работна индукция;

f – мрежова честота, $f = 50 \text{ Hz}$

k – коефициент, за мрежов трансформатор $k = 4.44$

Избира се сечение по-голямо или равно на изчисленото. Като правило се избира квадратно сечение.

- **Проверка за избраното сечение**

Проверка по мощност се прави аналогично като на мрежов трансформатор

$$Sm = c \sqrt{\frac{P \cdot \alpha}{f \cdot B \cdot \delta}} \quad [\text{m}^2] \quad (6)$$

където:

c – коефициент, за “П”-образен магнитопровод $c=0.6$

$\alpha = Q_{\text{магнитопровод}} / Q_{\text{намотка}} = 2 \div 6$

δ – плътност на тока в намотката.

- **Изчисляване на тока на първичната намотка I_1**

$$I_1 = \frac{S}{U_1} \quad [\text{A}] \quad (7)$$

$$S = \frac{P}{\cos \varphi} \text{ [VA]} \quad (8)$$

- **Изчисляване на сечението на проводника на първичната намотка s_1**

Аналогично, както при мрежовия трансформатор

$$s_1 = \frac{I_1}{\delta} \text{ [mm}^2\text{]} \quad (9)$$

Важно е да се отбележи, че за относително големи мощности и височина на магнитопровода, първичната намотка може да се разположи на един ред. Тъй като целият нагревател е потопен във водата и не е необходима допълнителна термо- или електроизолация освен стандартната лакова изолация на проводника, то температурата на едноредовата намотка ще е същата като температурата на водата, независимо от електрическите загуби в нея. При това загубите в намотката допълнително ще отдават топлина във водата. Това позволява работа със значително по-голяма плътност на тока в сравнение с $\delta = 2\div 4 \text{ A/mm}^2$ при стандартния мрежов трансформатор.

Приемлив диапазон за плътността на тока в първичната намотка при трансформаторен индукционен нагревател е $7\text{-}8 \text{ A/mm}^2$. При тази допустима плътност на тока, нагревателят става малко по-лек и по-евтин.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Предложеният трансформаторен индукционен нагревател има много по-голяма топлоотдаваща контактна площ с вода, което позволява бързото ѝ загряване, при температура на топлообменника, минимално превишаваща зададената температура на водата. Това свежда до минимум отлаганията върху нагревателя и запазва експлоатационните му характеристики за много дълго време. Гарантира се високоефективно нагряване при директно използване на мрежовото захранване. Позволява проектиране и реализация в широк диапазон от мощности и има много висока надеждност.

ЛИТЕРАТУРА

- [1] Nakaoka M., M. Yamamoto, T. Iseki, G. Bin, Latest Electromagnetic Induction-based Fluid-Heating Equipment using High-Frequency PWM Load Resonant Inverter. In: PEDS'97 Internatoinal Conference, IEEE 1997.
- [2] U.S. Patent: M. Nakaoka, M. Yamamoto, T. Iseki, Electromagnetic Induction-based Fluid Heater. Nov. 1999.
- [3] Tomchev P., N. Nenov, R. Ivanova, SUBMERSIBLE INDUCTION WATER HEATER. In: 11th International Conference Research and Development in Mechanical Industry, RaDMI 2011, 15 - 18. September 2011, Soko Banja, Serbia, Vol 2, pp I272-I276.
- [4] Томчев П., Н. Ненов, Р. Иванова, Трансформатор за индукционно нагряване на втулки за горещи сглобки. XXI МНТК АДП-2012, Созопол, юни 2012, Научни известия бр.3/132, стр.121-128.