

# СЪГЛАСУВАНЕ ПАРАМЕТРИТЕ НА ИНДУКТОРА ЗА НАГРЯВАНЕ НА ФЛУИДИ С ПАРАМЕТРИТЕ НА АВТОНОМНИЯ ИНВЕРТОР

гл. ас. Даниела Марева, проф. д-р Димитър Юдов, ас. Емил Марев  
Бургаски Свободен Университет, Център по Информатика и Технически науки, e-mail: [D\\_mareva@abv.bg](mailto:D_mareva@abv.bg), [yudov@bfu.bg](mailto:yudov@bfu.bg), [E\\_marev@abv.bg](mailto:E_marev@abv.bg)

## АБСТРАКТ

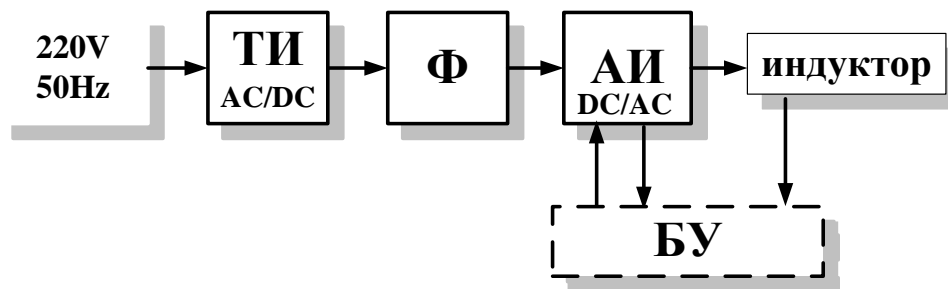
Индукционното нагряване е безконтактен метод. Генерира се топлина в повърхностния слой на магнетопроводим материал (метал). Това поле се произвежда от бобина-индуктор, захранвана от високочестотен резонансен инвертор, реализиран с мощни ключови полупроводникови елементи MOS или IGBT. Това е един подходящ подход за индукционно нагряване в процесите за получаване на електрическа топлина. Тази топлина се отдава на избрания флуид и го подгрива до необходимата температура. Процесът може да се регулира бързо и прецизно.

## КЛЮЧОВИ ДУМИ

нагряване на флуиди, индуктор, инвертор, съгласуване

## ВЪВЕДЕНИЕ

Схемата на една система, реално приложима за индукционно нагряване на флуиди е дадена на Фиг.1.



Фиг.1. Блокова схема на система за индукционно нагряване

Основните блокове на такива системи се състоят от:

- ТИ - токоизправител на мрежово напрежение AC/DC;
- Ф – филтър - кондензатор;
- АИ – автономен инвертор DC/AC.
- БУ – блок за управление

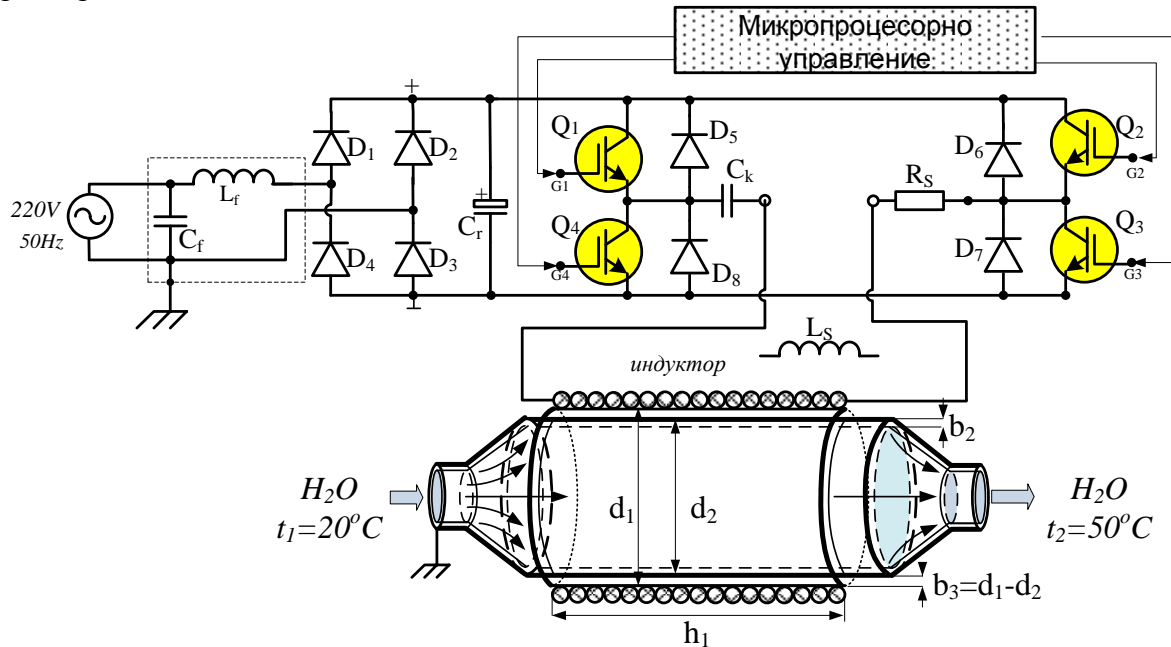
Като товар на инвертора се използва индуктор, нагряващ топлообменник, през който протича вода с определен дебит. За максимално преобразуване на консумираната от мрежата енергия в топлина е необходимо между отделните блокове да има добро съгласуване.

Предимство на предложената схема е отсъствието на съгласуващи трансформатори между захранващата мрежа и изправителя AC/DC, също така между изхода на автономния инвертор и индуктора. При еднофазно захранване се използва еднофазна мостова схема, а при трифазно захранване се използва трифазна мостова схема. В [1] се анализира използването на различни инвертори на напрежение и в заключение се препоръчва мостов транзисторен резонансен инвертор.

В [2] се анализира използването на различни конструкции на индуктори, всеки със своите особености, преимущества и недостатъци. За получаването на по-общи

резултати от изследването в настоящата разработка се използва обикновен индуктор, навит на желязна тръба.

Проектирането на индуктора за индукционно нагряване на флуиди се определя от необходимия дебит на нагрявания флуид и температурната разлика на входа и изхода. От това проектиране се получава броя на навивките на индуктора и неговите габаритни размери.



Фиг.2. Система за индукционно нагряване на флуиди

От друга страна в предложената принципна схема на система за индукционно нагряване на флуиди, индуктора изпълнява ролята на резонансна индуктивност на инвертора.

Целта на статията е да се съгласува стойността на индуктивността на проектирания индуктор с необходимата стойност на резонансна индуктивност на инвертора.

В [3] се проектира индуктора на битов бойлер, работещ на висока честота.

Получени са следните технически параметри на индуктора:

- Вътрешният диаметър на индуктора -  $d_1=0,08\text{m}$
- Височината на индуктора –  $h_1=0,3\text{m}$
- Броят на навивките на индуктора -  $w_1=43$  навивки
- Външният диаметър на стандартна стоманена тръба с диаметър  $d_2=63\text{mm}=2,5$  цола  $\approx 0,06\text{m}$
- изолационен материал с дебелина  $b_3 = d_1-d_2=1\div 10$  mm.

От друга статия [1] са показани стойностите на индуктора за индукционно нагряване на флуиди, който осигурява енергийните параметри на резонансен инвертор, при който се отдава енергията от захранващия източник към товара с максимален коефициент на полезно действие. Това налага съгласуване на габаритните параметри на индуктора със електрическите параметри на резонансната индуктивност на автономния инвертор.

Индуктивността  $L$  на индуктор без сърцевина се получава[4]:

$$L_1 = \frac{d_1^2 \cdot w^2}{45 \cdot d_1 + 100 \cdot h_1} \quad (1)$$

В случая:  $L_1 = \frac{8^2 \cdot 43^2}{45.8 + 100.30} = 35 \mu H$

При наличие на нагривана желязна тръба в индуктора се променя стойността на изчислената в (1) индуктивност. Корекцията на стойността на индуктивността се определя от зависимостта (2).

$$L_2 = \mu_{rel} \cdot L_1 \tag{2}$$

където:  $\mu_{rel}$  - относителна магнитна проницаемост на сърцевината (тръбата).

Относителната магнитна проницаемост на тръбата е променлива величина и се определя от зависимост (3).

$$\mu_{rel} = \mu_s k_\mu \cdot k_5 \tag{3}$$

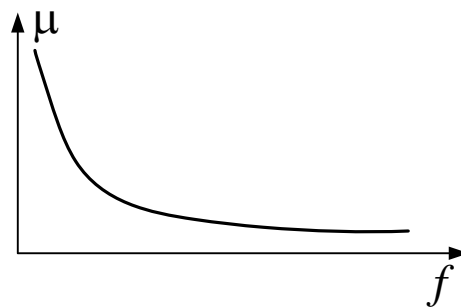
$\mu_{rel}$  - зависи от магнитната проницаемост на материала на тръбата  $\mu_s$ , раз-мерите на бобината и тръбата, тяхната конструкция и честотата на тока в намотката на бобината.

Тези особености се изразяват с коефициентите:

$$k_\mu = f(d_1/d_2) \quad \text{и} \quad k_5 = f(h_1/d_2)$$

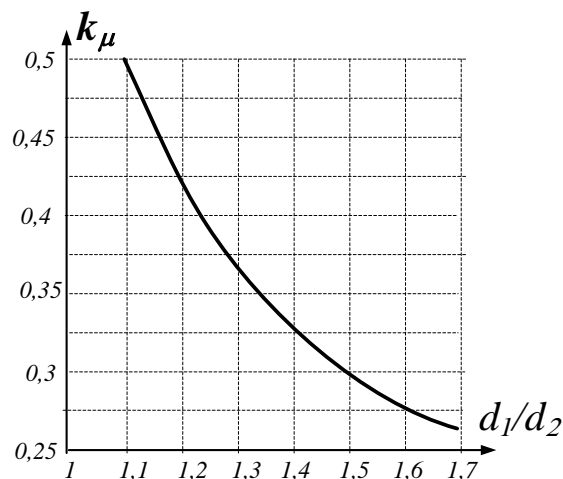
$\mu_s$  - магнитната проницаемост на желязото и се отнася за плътна сърцевина, поставена в условията на магнитно поле с честота 50Hz. В нашия случай сърцевината не е плътно желязо, а желязна тръба и това води до изкривяване на магнитното поле и намаляне на  $\mu_s$ . Също така е известно, че при наличие на токове на Фуко високочестотното магнитно поле  $\mu_s$  значително намаля (фиг.3).

В този случай може да се приеме  $\mu_s = 1 \div 20$ . За изчисленията се приема стойност  $\approx 3$ .

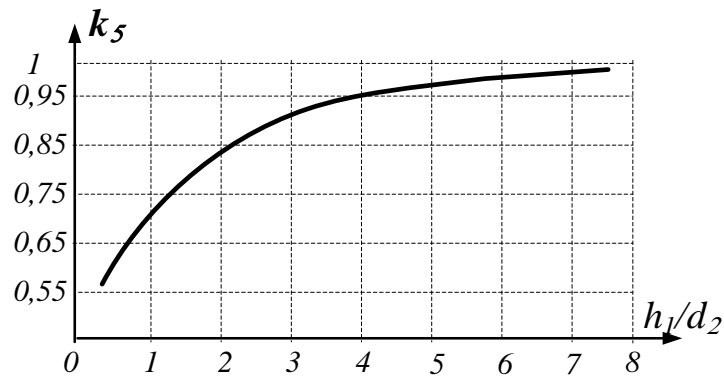


Фиг.3. Графика на промяна на магнитната проницаемост от честотата [4]

Коефициентите  $k_\mu$  и  $k_5$  се отчитат с помощта на графиката на фиг.4а,б.[4].



а. стойност на коефициента  $k_\mu$  ;



б. стойност на коефициента  $k_5$

Фиг. 4. Графики за изчисление на индуктивността с наличие на желязна сърцевина

За дадените конструктивни размери на индуктора се получава стойността на коефициентите  $k_\mu \approx 0,5$  и  $k_5 \approx 1$ .

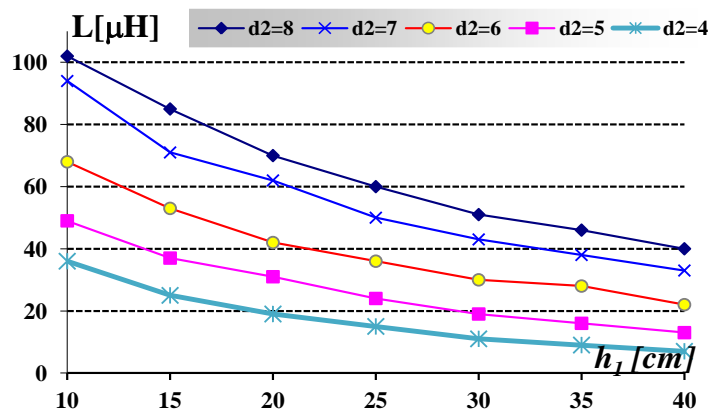
От казаното до тук става ясно, че величината на индуктивността е функция на размерите на индуктора, дебелината на изолацията между тръбата и бобината /индуктор/ и дебелината на самата тръба.

$$L_1 = \frac{d_1^2 \cdot w^2}{45 \cdot d_1 + 100 \cdot h_1} \cdot \mu_c \cdot k_\mu \cdot k_5 \quad (4)$$

В случая:  $L_1 = \frac{d_1^2 \cdot w^2}{45 \cdot d_1 + 100 \cdot h_1} \cdot 3 \cdot 0,5 \cdot 0,98 = 37 \mu\text{H}$

В[5] е получена стойност на резонансната индуктивност  $L_s = 49 \mu\text{H}$ . За да се осигури възможност за съгласуване на индуктора и инвертора, е необходимо да се изследва влиянието на габаритните размери на индуктора върху стойността на неговата индуктивност.

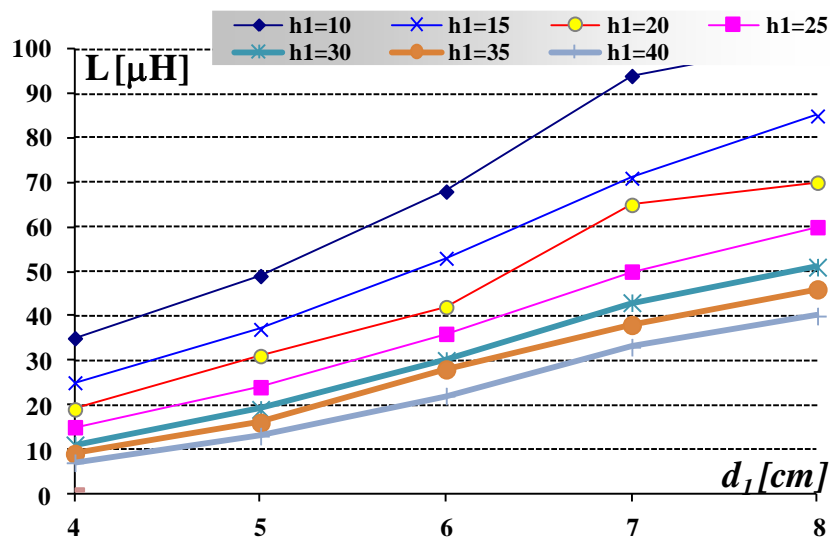
На фиг.5 са показани зависимости на стойността на индуктивността на индуктора при изменение на неговата дължина и константни стойности на диаметъра на тръбата плюс изолацията при неизменен брой намотки.



Фиг.5. Зависимости на стойността на индуктивността на индуктора при изменение на неговата дължина

От фиг.5 се вижда, че за зададената мощност на системата за индукционно нагряване на флуиди, необходимата резонансна индуктивност се получава при различни диаметри на тръбата, като се избере съответната дължина на индуктура.

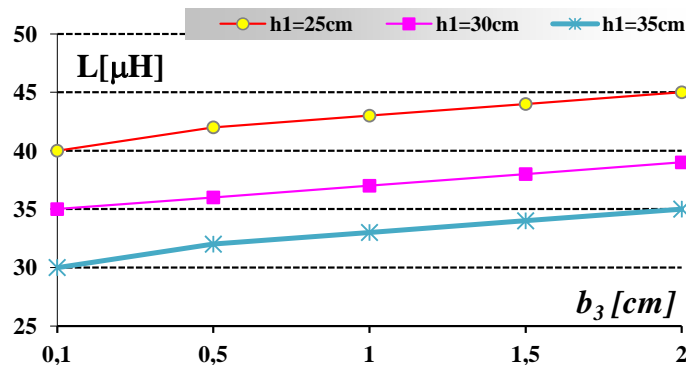
На фиг.6 са показани зависимости на стойността на индуктивността на индуктора при изменение на диаметъра на тръбата и константни стойности на неговата дължина при неизменен брой намотки.



Фиг.6. Зависимости на стойността на индуктивността на индуктора при изменение на неговия диаметър

Получената зависимост на фиг.6 показва, че желаната резонансна индуктивност се получава за няколко стойности на диаметъра на тръбата при съответни дължини на индуктора.

На фиг.7 са показани зависимости на стойността на индуктивността на индуктора при изменение на дебелината на изолацията на тръбата и константни стойности на неговата дължина при неизменен брой намотки.



Фиг.7. Зависимости на стойността на индуктивността на индуктора при изменение на дебелината на изолацията на тръбата

От получената зависимост на фиг.7 се вижда, че промяната на дебелината на изолацията, не оказва съществено изменение на индуктивността на индуктора.

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

От получените резултати могат да се направят следните изводи:

1. При нарастване на дължината на индуктора, намаля стойността на неговата индуктивност при константен брой навивки.

2. При нарастване на дебелината на индуктора, нараства стойността на неговата индуктивност при константен брой навивки.
3. При нарастване на дебелината на изолацията между индуктора и желязната тръба, стойността на неговата индуктивност почти не се променя при константен брой навивки.
4. С промяна на дължината на индуктора и дебелината му, може да се постигне необходимата индуктивност, за да се съгласува с индуктивността на използвания резонансен инвертор. Така размерите на тръбата и индуктора могат да бъдат избирани според технологичните особености.

#### **ЛИТЕРАТУРА**

- [1]. Марева Д., Юдов Д., Марев Е. „Автономен инвертор за индукционно нагряване на вода”, БСУ, 2010.
- [2]. Марева Д. Развитие на индукционно нагряване на флуиди”, Годишник- ВФУ 2010
- [3]. Марева Д., Юдов Д., Марев Е. „Проектиране на индуктор за нагряване на флуиди”, Годишник, БСУ, 2012.
- [4]. В.Г. Бастанов, „Высокоочотные катушки индуктивности ”, Москва, 2007.
- [5]. Марева Д., Юдов Д., Марев Е. „Комбинирано регулиране на инвертор за индукционно нагряване”, Созопол ЕТ-2011.