

ИЗСЛЕДВАНЕ ЧУВСТВИТЕЛНОСТТА НА LLCC ИНВЕРТОР ЗА ИНДУКЦИОННО НАГРЯВАНЕ

Даниела Марева, Емил Марев, БСУ

SENSIVITY STUDY ON LLCC INVERTER FOR INDUCTION HEATING

Daniela Mareva, Emil Marev, BFU

Abstract: *The paper presents a analysis of resonant converters for induction fluid-heating applications in the system using autonomous frequency inverter. The parallel capacitor placed to first inductance of inductor divided into two parts. The parallel-serial inverter there is a certain correlation between output power and change the parameters of the oscillating circuit, supply voltage and operating resonant frequency. Strongly influences of the parameters of load sets the output power, and thence regulation of the required temperature.*

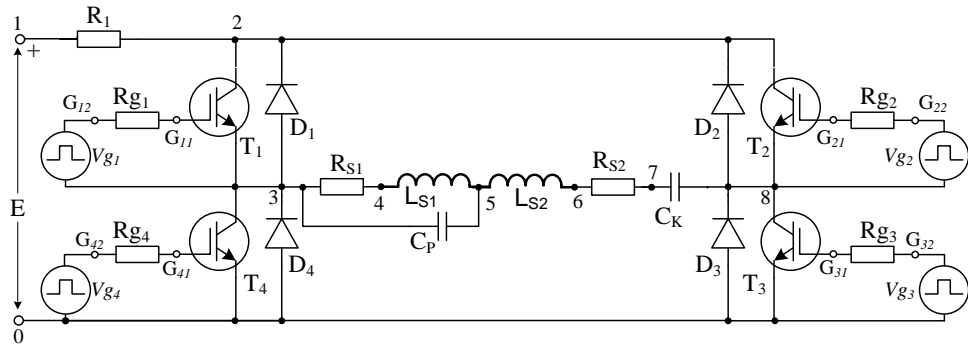
Key words: *autonomous resonance inverters, sensivity, parallel capacitor.*

Поддържането на определена температура в много случаи е важно да бъде реализирано при малки граници на изменение на температурата. При автономен инвертор за индукционно нагряване на флуиди температурата е пряка функция от изходната мощност [1][2].

Известно е, че при автономен последователно-паралелния инвертор съществува определена зависимост между изходната мощност на резонансния инвертор и изменение параметрите на трептящия кръг-съставен от две части и поставен като товар между двете рамена на инвертора, както и влиянието на захранващото напрежение и работната честота

Цел на статията - да се изследват енергетичните параметри на LLCC автономен инвертор за индукционно нагряване при промяна на захранващото напрежение $U_{\text{запр}}$, при изменение елементите на последователно-паралелния трептящ кръг- стойността на L_s , стойностите на паралелния кондензатор C_p , на комутирация кондензатор C_k и промяна на работната честота.

На фиг.1 е показан Pspice модел на автономен последователно - паралелен LLCC резонансен инвертор за нагряване на флуиди. Характерна особеност на изследвания инвертор е товара, състоящ се от последователно свързани паралелен L_{s1}, C_p, R_{s1} резонансен кръг и последователен L_{s2}, C_k, R_{s2} резонансен кръг.

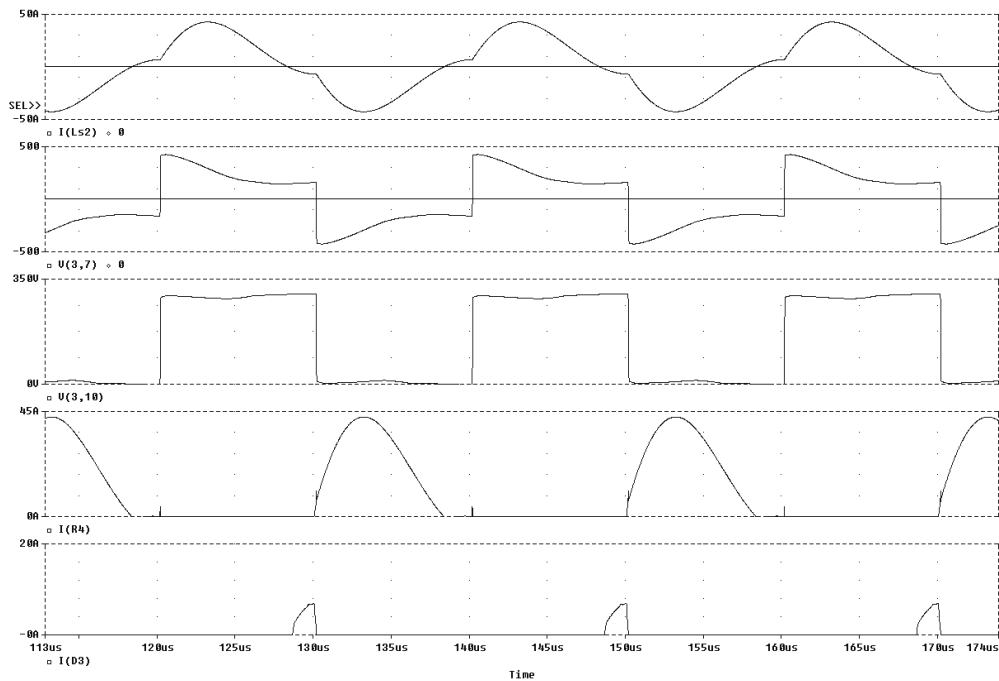


Фиг.1. Pspice модел на изследвания резонансен инвертор

Стойности за елементите на инвертора, които се използват при PSPICE симулацията на изследваната схема са получени в [2]:

$E=300V$, $L_{\pi}=L_{S1}+L_{S2}=23\mu H+26\mu H$, $R_{\pi}=R_{S1}=R_{S2}=3\Omega+3\Omega$, $C_k=0,74\mu F$, $C_p=0,64\mu F$, $f=50kHz$.

На фиг.2 са показани характерни за работата на LLC инвертора времедиаграми.



Фиг.2. Времедиаграми на управлящото напрежение, напрежението върху товара, тока през втората част на индуктора и тока през обратния диод

От показаните времедиаграми се вижда, че :

- натоварването по напрежение на силовите транзистори не надвишава стойността на захранващия източник E ;
- токът през обратните диоди D_1, D_2, D_3, D_4 е в пъти по-малък от тока през транзисторите.

Изследваната схема функционира нормално.

Пълното комплексно съпротивление на еквивалентния товар свързан в диагонала на автономен последователно - паралелен LLCC резонансен инвертор е:

$$Z_{\varepsilon} = \frac{(R_{S1} + j\omega_0 L_{S1}) \left(-\frac{1}{j\omega_0 C_P} \right)}{R_{S1} + j\omega_0 L_{S1} - \frac{1}{j\omega_0 C_P}} + R_{S2} + j\omega_0 L_{S2} - \frac{1}{j\omega_0 C_K} \quad (1)$$

При работа със собствена резонансна честота (ω_0) качественият фактор Q има вида [4]:

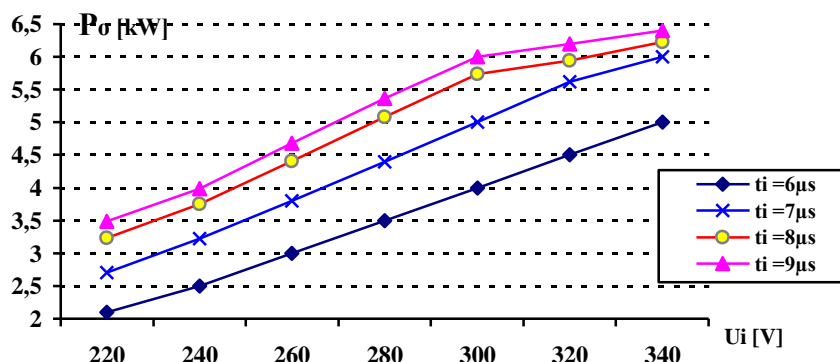
$$Q = \frac{\omega_0^4 L_{S1} L_{S2} C_P^2 + \omega_0^3 R_{S1}^2 L_{S2} C_P^2 - \omega_0^2 L_{S2} C_P + \omega_0 L_{S1}}{\omega_0^4 R_{S2} L_{S1}^2 C_P^2 + \omega_0^2 (R_{S1}^2 R_{S2} C_P^2 - 2R_{S2} L_{S1} C_P) + R_{S1} + R_{S2}} \quad (2)$$

С достатъчна инженерна точност при пренебрегване на членовете с малка и незначителна тежест израза придобива вида.

$$Q = \frac{\omega_0 L_{S1}}{R_{S1} + R_{S2}} \quad (3)$$

От тази зависимост се вижда от кои елементи на схемата най-силно зависи качествения фактор Q.

Графичната зависимост на фигура 3 изобразява средната стойност на изходната мощност P_o [kW] на изследвания последователно-паралелен инвертор, при изменение на захранващото напрежение и промяна на ширината на управляващия импулс t_{imp} .

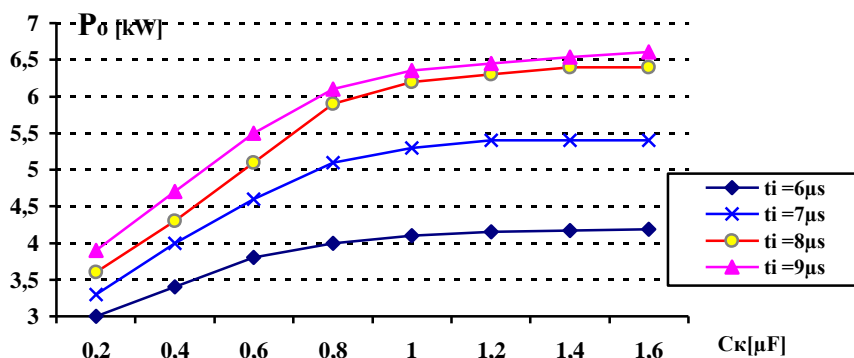


Фиг.3. Графична зависимост на средната стойност на изходна мощност на мостов инвертор със C_P при различни стойности на захранващото напрежение

Може да се направи следното заключение – поддържането на една и съща температура $t^{\circ}C = const$, отговарящо на поддържане на необходимата изходна мощност на последователно-паралелен инвертор, може да се реализира при изменение на захранващото напрежение U_i от 280V до 340V, като се компенсира с регулиране на ширината на управляващия импулс t_{imp} .

Графичната зависимост на фигура 4 изобразява средната стойност на изходната мощност P_o [kW] на изследвания последователно-паралелен инвертор, при изменение на

стойността на комутация кондензатор C_k , при промяна на ширината на управляващия импулс t_{imp} .

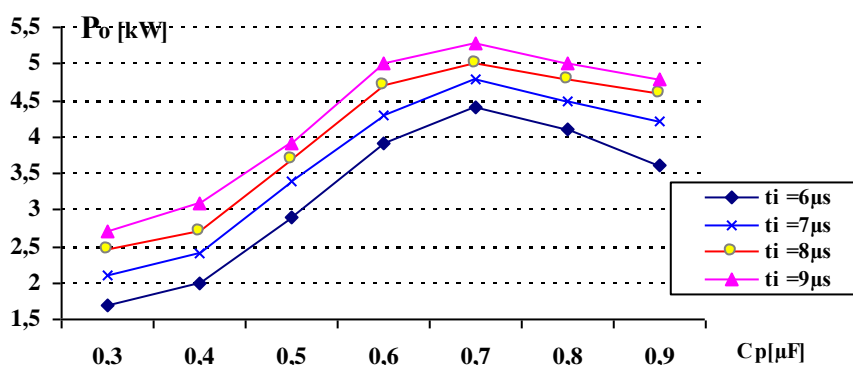


Фиг.4. Графична зависимост на средната стойност на изходна мощност на мостов инвертор със C_r при различни стойности на C_k

Може да се направи следното заключение – изменението на изходната мощност се характеризира в два съществени участъка:

- промени от малки стойности на комутация кондензатор C_k до номиналната стойност, при които изходната мощност P_0 почти линейно се изменя с нарастване стойността на кондензатора C_k ;
- през вторият участък при стойности на комутация кондензатор C_k над номиналната стойност, изходната мощност P_0 почти не зависи от изменението на стойността на кондензатора C_k .

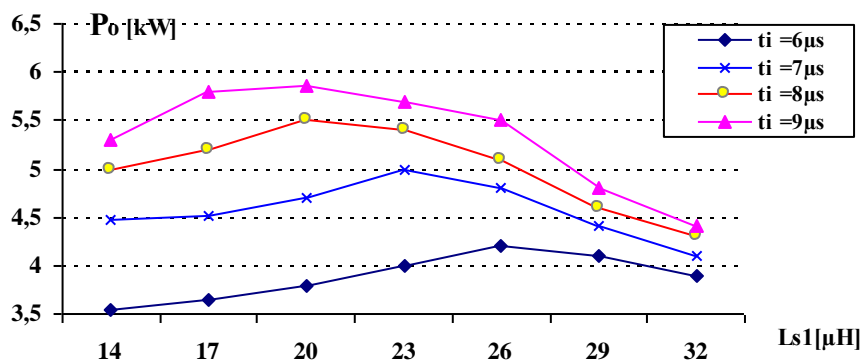
Графичната зависимост на фигура 5 изобразява средната стойност на изходната мощност P_0 [kW] на изследвания последователно-паралелен инвертор, при изменение на стойността на паралелния кондензатор C_r и промяна на ширината на управляващия импулс t_{imp} .



Фиг.5. Графична зависимост на средната стойност на изходна мощност на мостов инвертор със C_r при различни стойности на C_r

Може да се констатира следното – влиянието на резонансните свойства на мостовия инвертор при изменение на стойността на паралелния кондензатор C_r , е силно изразено. Получава се максимална стойност на изходната мощност P_0 при точно определена стойност на кондензатора C_r .

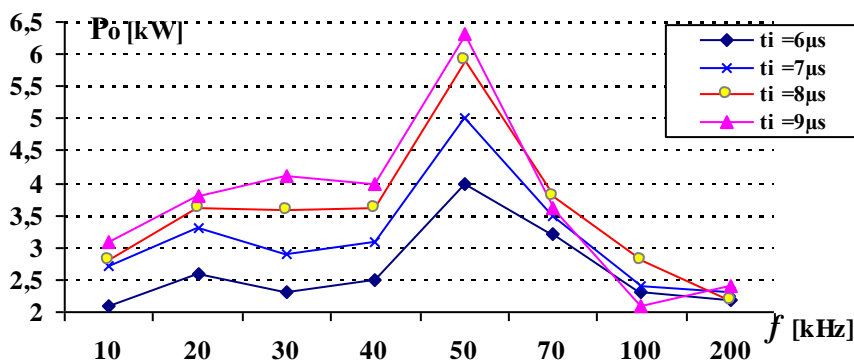
Графичната зависимост на фигура 6 изобразява средната стойност на изходната мощност P_o [kW] на изследвания последователно-паралелен инвертор, при изменение на стойността на първата индуктивност на индуктора L_{s1} и промяна на ширината на управляващия импулс t_{imp} .



Фиг.6. Графична зависимост на средната стойност на изходна мощност на мостов инвертор със C_p при различни стойности на L_{s1}

Може да се констатира следното – поради резонансния характер на последователно-паралелен инвертор, максимална изходната мощност P_o се получава при различни стойности на първата индуктивност на индуктора L_{s1} и промяна на ширината на управляващия импулс t_{imp} .

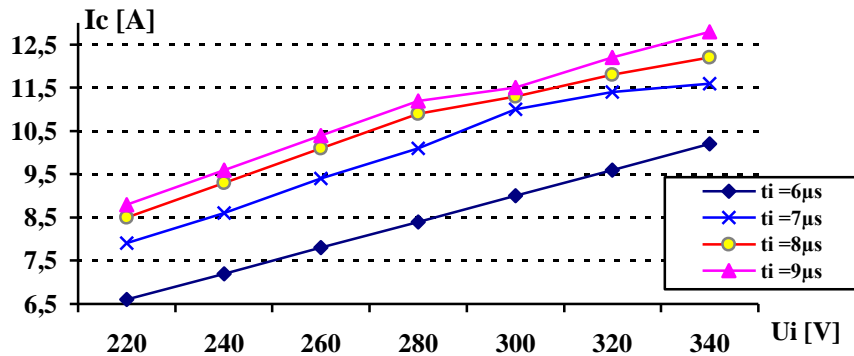
Графичната зависимост на фигура 7 изобразява средната стойност на изходната мощност P_o [kW] на изследвания последователно-паралелен инвертор, при изменение на резонансната честота и промяна на ширината на управляващия импулс t_{imp} .



Фиг.7. Графична зависимост на средната стойност на изходна мощност на мостов инвертор със C_p при различни стойности на f

Може да се направи следното заключение – подчертан е силния резонансен характер на схемата - максимално отдаване на мощност в товара на схемата.

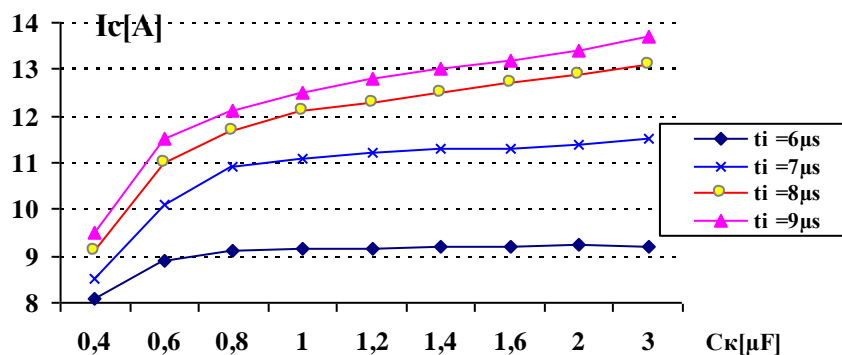
Графичната зависимост на фигура 8 изобразява средната стойност на тока през един от транзисторите $T_4 - I_c$ [A] на изследвания последователно-паралелен инвертор, при изменение на захранващото напрежение и промяна на ширината на управляващия импулс t_{imp} .



Фиг.8. Графична зависимост на средния ток през транзистор T_4 на мостов инвертор със C_r при различни стойности на захранващото напрежение

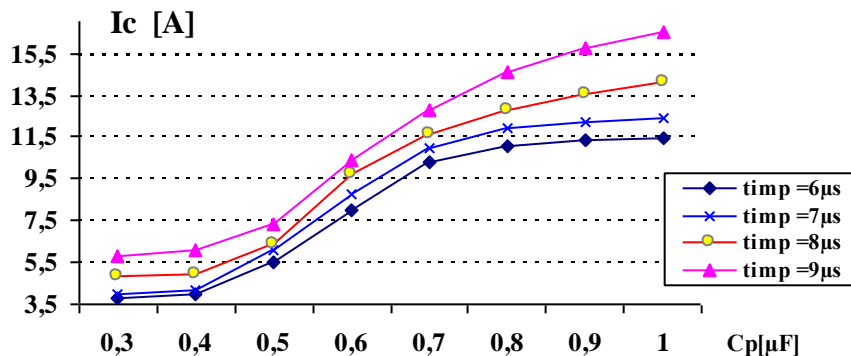
Може да се направи следното заключение – при по-значително изменение на захранващото напрежение U_i следва относително по-слабо изменение на тока през транзистора, примерно с 1A на 30V. При изменение на захранващото напрежение с 10%, тока през транзистора нараства с 20%.

Графичната зависимост на фигура 9 изобразява средната стойност на тока през един от транзисторите T_4 - I_c [A] на изследвания последователно-паралелен инвертор, при изменение на стойността на кондензатора C_k и промяна на ширината на управляващия импулс t_{imp} .



Фиг.9. Графична зависимост на средния ток през транзистор T_4 на мостов инвертор със C_r при различни стойности на C_k

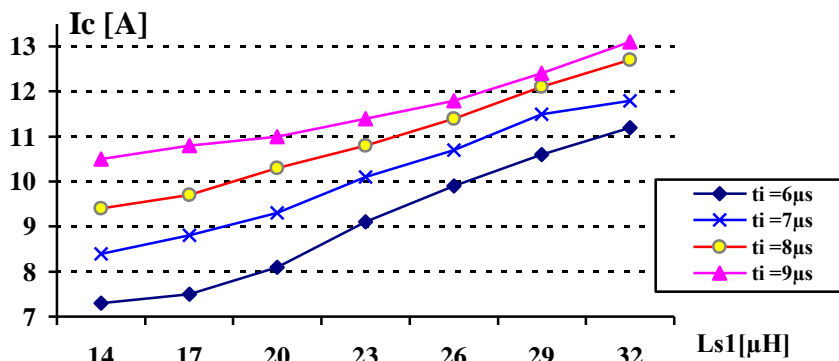
Графичната зависимост на фигура 10 изобразява средната стойност на тока през един от транзисторите T_4 - I_c [A] на изследвания последователно-паралелен инвертор, при изменение на стойността на паралелния кондензатор C_r и промяна на ширината на управляващия импулс t_{imp} .



Фиг.10. Графична зависимост на средния ток през транзистор T_4 на мостов инвертор със C_p при различни стойности на C_p

Може да се констатира следното от фигура 9 и фигура 10 – зависимостите следват характера на изменение на изходната мощност (фиг.4 и 5).

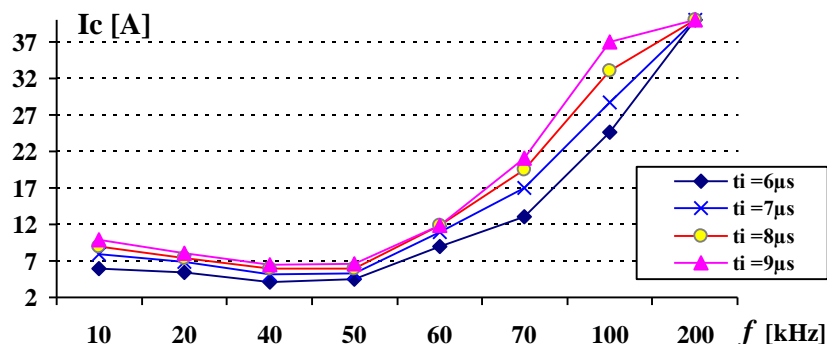
Графичната зависимост на фигура 11 изобразява средната стойност на тока през един от транзисторите T_4 - I_c [A] на изследвания последователно-паралелен инвертор, при изменение на стойността на първата индуктивност на идуктора L_{s1} и промяна на ширината на управляващия импулс t_{imp} .



Фиг.11. Графична зависимост на средния ток през транзистор T_4 на мостов инвертор със C_p при различни стойности на L_{s1}

Може да се направи следното заключение – при номиналната стойност на първата индуктивност $L_{s1} = 26\mu H$ на индуктора, тока през транзисторите много слабо зависи от промяната на ширината на управляващия импулс t_{imp} в изследвания диапазон.

Графичната зависимост на фигура 12 изобразява средната стойност на тока през един от транзисторите T_4 - I_c [A] на изследвания последователно-паралелен инвертор, при изменение на резонансната честота и промяна на ширината на управляващия импулс t_{imp} .



Фиг.12 Графична зависимост на средния ток през транзистор T_4 на мостов инвертор със C_r при различни стойности на f

Може да се направи следното заключение – подчертан е силния резонансен характер на схемата - максимален ток протичащ през силовите транзистори.

От представените изследвания могат да се направят следните изводи:

1. Чувствителността на LLCC резонансен инвертор зависи по-силно от промяната на резонансната честота, отколкото от промяната на стойността на L,C елементите.
2. Получените графични зависимости могат да послужат за получаване на регулировъчни характеристики за управление на LLCC резонансен инвертор за изменение и поддържането на една и съща температура $t^{\circ}\text{C}$ на протичащата през топлообменника вода.
3. Изследване чувствителността на LLCC резонансен инвертор към елементите на схемата довежда до съображения, които трябва да се имат в предвид при избор на качествените показатели на избраните L,C елементи.

Литература:

1. Марева Д., Юдов Д. "LLCC инвертор за индукционно нагряване на флуиди Бургаски Свободен Университет -2011.
2. Марева Д., Юдов Д., Марев Е. „ Автономен инвертор за индукционно нагряване на вода”, Бургаски Свободен Университет , 2010
3. Hisayuki Sugimura, Hidekazu Muraoka Dual Mode Phase- Shifted ZVC-PWM Series Load Resonant High- Frequency Inverter for Induction Heating Super Heated Steamer, Journal of Power Electronics, Vol.4, No. 3, July 2004
4. Ушева М. П., К. Д. Сейменлийски, Теоретична електротехника, ISBN 978-954-760-176-3, "Колор Принт", АД, Варна, 2008г.