

Несиметричен транзисторен автоколебателен инвертор за индукционно нагряване

Ст.ас.инж. Петър Томчев Иванов – e-mail: tomchev@tugab.bg
Технически Университет-Габрово, 5300 Габрово, ул. "Х.Димитър" 4

Non-symmetrical transistor self-oscillating inverter for induction heating
The proven advantages of the transistor oscillators to the tube ones and the development of the active and the passive base determine their increasing practical use. One more reason for this is that some modern technologies for welding and soldering or sticking by heating of a thin metal folio necessitate low power up to 3 kW and high operating frequency, parameters that are aviable by transistor inverters. It is characteristic of these technologies the large variety of the metal heated by geometrical dimensions as well as their structure. This necessitate an ability for work of the highfrequency power supply within a large diapason of frequency, for example from 500 to 1500 kHz. An application of non-symmetrical half-bridge self-oscillating inverter is shown in the paper and its advantages and shortcomings are pointed out.

Доказаните предимства на транзисторните автономни инвертори пред ламповите генератори и развитието на активната и пасивна елементна база, водят до все по-масовото им използване като високочестотен токозахранващ източник в съоръженията за индукционно нагряване. В същото време се наблюдава бурно развитие на съществуващите и създаване на нови технологии, базирани на този технологичен процес. Една от насоките на развитие и все по-широко използване на индукционното нагряване е свързана с нагряване на тънко метално фолио с цел запояване, заваряване или залепване чрез допълнителен термопластичен материал, технологии особено разпространени в съвременната опаковъчна промишленост. Характерно за тях е малката дебелина на нагряваното фолио (микрони до десети от милиметра), изискваща високи работни честоти – стотици килохерци и дори мегахерци и относително малки мощности до 3 kW. Важна особеност е голямото разнообразие по отношение на геометричните размери (основно дължината на шева) и състав на обработваното фолио. Тази особеност изисква работоспособност на инвертора в широк честотен диапазон, по възможност без превключване на схемните елементи с изключение на товарния трептящ кръг. Това условие може да се изпълни по два начина:

- Чрез използване на високоинтелигентна система за управление, диагностицираща състоянието на трептящия кръг и задаваща съответна работна честота;
- Чрез използване на самосъгласуващ се по честота с товара автоколебателен инвертор.

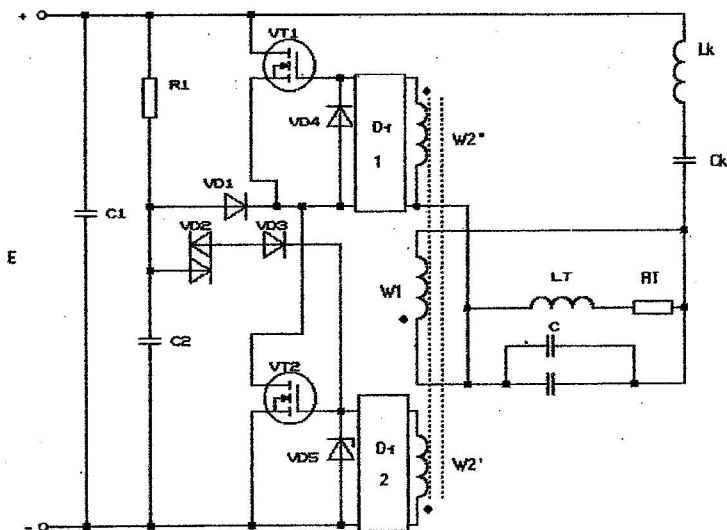
При високите работни честоти автоколебателните инвертори (АКИ) не само не отстъпват по функционални възможности, но имат и някои съществени предимства. По-важните са: честотно съгласуване с товара в реално време;

опростяване на пълната принципна схема, изразено основно в отсъствие на система за управление в явен вид и не на последно място по-ниската цена на съоръжението като цяло. Последното е още по-силно изразено при относително малки мощности, както е в случая.

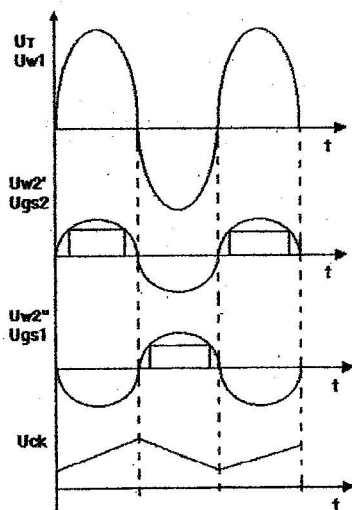
Съществуват и някои проблеми, характерни за инверторите със самовъзбуждане. Най-важният от тях е свързан с началното пускане в действие на инвертора и съответно със спирането му.

По принцип като АКИ могат да работят всички познати схемни решения на автономни инвертори като мостови, полумостови, със среден извод на трансформатора и други. За по-лесното решаване на гореспоменатия проблем и за постигане на работни честоти в мегагерцовия честотен обхват, добрият избор на силова схема е от голямо значение. От някои теоритични и практически съображения може да се твърди, че по-добри работни режими и резултати се получават когато няма два последователно свързани едновременно работещи транзистори. Твърдение, което впоследствие е доказано и експериментално. Поради конструктивната сложност на трансформатора със среден извод, изборът пада върху полумостов вариант на силова схема.

Принципната схема на несиметричен полумостов автоколебателен инвертор е показана на фиг.1, а на фиг.2 – идеализираните времедиаграми, илюстриращи принципа му на действие в установен режим.



Фиг.1.



Фиг.2.

Както се вижда от фиг.1, системата за управление се свежда до трансформатор за обратна връзка и две крайни стъпала (драйвери) за формиране управляващите импулси на транзисторите. Първичната намотка на трансформатора ($w1$) е свързана паралелно на товарния кръг. Двете вторични намотки ($w2'$ и $w2''$) са навити противоположно, следователно напреженията им са дефазирани на 180° . Напрежението $U2'$ е във фаза с $U1$ и от положителната му полуувълна се формира управляващ импулс на транзистора $VT2$, а $U2''$ е в противофаза с $U1$, а от положителната му полуувълна се формира управляващ импулс за транзистора $VT1$.

По отношение на силовата схема за посоченото свързване на кондензатора C_k към плюсовата шина, принципа на действие е следния: Задължително първия полупериод (положителната полуувълна на товарното напрежение фиг.2) се формира при отпушване на транзистора, включен към минусовата шина $-VT2$. Веригата, която се получава е $+E; L_k; C_k$; паралелния товарен кръг; $VT2$; $-E$ и се явява зарядна за C_k (фиг.2). Формирането на отрицателния полупериод става, чрез включване на транзистора $VT1$. Тогава веригата е $+C_k; L_k; VT1$; паралелния товарен кръг; $-C_k$. Като източник на напрежение за този полупериод се явява кондензаторът C_k , като той се разрежда (фиг.2). Стойността на амплитудата на напрежението, до което C_k се зарежда и разрежда, зависи от стойността му, работната честота и параметрите на колебателния контур. За зададения широк честотен диапазон тази стойност силно се изменя. Така разгледан кондензаторът C_k има по-скоро енергийни функции и с пълно основание може да се нарича "енергиен", вместо

популярното за полумостовия инвертор наименование "комутиционен" кондензатор.

Много важно е да се отбележи, че по отношение на постояннотоковото захранване схемата е еднотактна (черпи енергия само в единия полупериод), но по отношение на товара (индуктора) тя е симетрична двутактна. Това е така, защото зарядната и разрядната вериги на енергийния кондензатор са еднакви и към товарния трептящ кръг за двата полупериода се отдава еднакво количество енергия.

Управлението на транзисторите, чрез сигнал от товарния кръг, почти без логическа обработка, осигурява самосъгласуване по честота на инвертора с товара. Това самосъгласуване е както в динамичен режим (по време на нагряване), така и при начално пускане в действие. Именно това гарантира надеждна работа при относително постоянни режими на транзисторите в целия честотен диапазон от 500kHz до 1500 kHz. И това е без превключване на пасивни елементи от схемата, освен компенсиращия кондензатор С (фиг.1), чрез който се задава собствената честота на товарния кръг в зависимост от състава, дебелината и широчината на нагряваното метално фолио.

Интересен въпрос представлява уточняването на необходимата мощност за различните честоти. Лесно може да се съобрази, че с намаляване на масата на метала, следователно с увеличаване на честотата, за да се запази едно и също технологично време, мощността трябва да намалява. Чрез симулиране на нагревния процес и експериментално беше установено, че най-добри технологични резултати се получават, когато за различните честоти се поддържа относително постоянна стойност на товарното напрежение. Разбира се това се отнася за случаите, когато в целия честотен диапазон се работи с един и същ индуктор. За целта е реализиран лабораторен макет на несиметричен полумостов АКИ (фиг.1). Проведени са редица експерименти, основно в посока на покриване на зададения честотен диапазон при запазване на постоянно товарно напрежение, без регулиране на постояннотоковото захранване $E = \text{const}$. Експерименталните резултати са заснети с четиринавивков индуктор с магнетодиелектричен концентратор с индуктивност при 1 MHz – 4,1 μH . По-важните от тях са поместени в таблица 1.

Таблица 1.

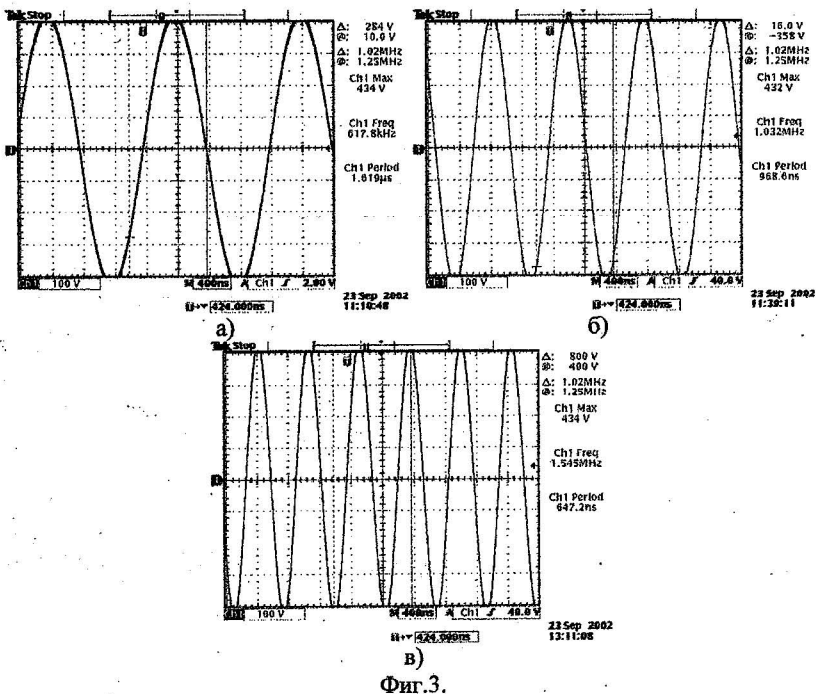
33,2	617,8	1619	120	8,3	996	434	172
18,2	791,3	1264	120	6,1	732	436	158
10,0	1032	968,6	120	4,5	540	432	138
6,8	1225	816,2	120	3,5	420	433	179
5,0	1545	647,2	120	3,0	360	434	188

Поради автоколебателния характер на схемата, задаването на работната честота става чрез изменение на стойността на компенсиращия кондензатор С. Представени са постояннотоковите величини (ток, напрежение и мощност),

честота и период, товарно напрежение и максимална пикова стойност на напрежението "дрейн-сорс" на транзисторите при пет различни стойности на C , изменящи работната честота приблизително през 200 – 250 kHz.

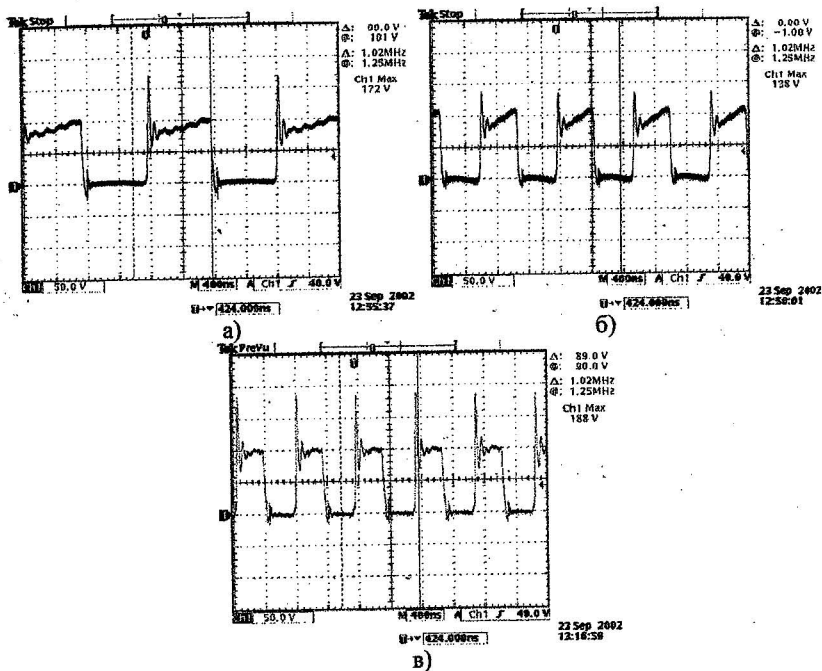
Прави впечатление постоянната стойност на напрежението U_{tm} , осигурена чрез значително нарастване на мощността P_o , с намаляване на честотата. По този начин се постига еднакво време за нагряване на фолио с различна дебелина при съответстващите и честоти. Максималната пикова стойност на напрежението върху транзистора дава информация за режима му на работа.

На фиг.3 а),б),в) са показани осцилограми на U_t при 617,8 kHz, 1032 kHz и 1545 kHz, заснети с осцилограф Tektronix TDS 3032. От тях се вижда амплитудата и добрата синусоидална форма на напрежението, както и честотата и периода за съответната осцилограма.



На фиг.4 а),б),в) са показани напреженията U_{ds} на транзистора за същите три честоти. Наблюдават се напреженови пикове при изключване на транзисторите, които могат значително да се намалят чрез включване на RC групи, паралелно на транзисторите. Поради очакваните големи загуби в тези

групи, вследствие на високите работни честоти, инверторът е реализиран без RC групи. Основание за това дава и допустимата стойност на тези пикове в целия честотен диапазон.



Фиг. 4.

В заключение може да се отбележи, че получените резултати са добри и дават основание за по-нататъшно изследване на възможностите на несиметричния автоколебателен инвертор като широкодиапазононен високочестотен токозахранващ източник за индукционно нагряване.

Литература

1. Todorov T., Ivanov P., Milichevich M., Madjarov N., Iliev D., Aleksiev D., "Specialised high frequency power supplies for induction heating applications", Padua, International Seminar, september 2001
2. Иванов П., Иванова Р., "Специализирани маломощни захранващи източници за индукционно нагряване", Созопол, ЕТ 2000