

# ВИСОКОЧЕСТОТЕН ТРАНЗИСТОРЕН ИНВЕРТОР ЗА ЗАХРАНВАНЕ НА ЕЛЕКТРОТЕРМИЧНО УСТРОЙСТВО

асп.инж. Деян Годоров Алексиев  
инж. Георги Пенчев Иванов  
инж. Стойко Тодоров Алексиев  
ВМЕИ – Габрово

В практиката на индукционното нагряване се използват два честотни диапазона – средночестотен, включващ честотите до 10 kHz и високочестотен /радиочестотен/, към които се отнасят честотите от 70 kHz до няколко мегагерца. В средночестотния диапазон токозахранващите източници са с относително големи мощности – отняколко десетки до стотици и хиляди киловата. Почти две десетилетия вече, откакто тези токоизточници се изпълняват като полупроводникови – тиристорни преобразуватели на честота. В радиочестотния диапазон се използват все още лампови генератори, мощността на които е от единици до десетки, максимум до 200÷300 kW. При малките и средни мощности до 10÷20 kW е оформена тенденция за преминаване към транзисторно изпълнение. Независимо от високите параметри на съвременните силови полупроводникови прибори /биполярни и MOS транзистори, IGBT прибори и др./ резултатите от транзисторирането на високочестотните захранващи източници за индукционно нагряване /ИИ/ са ограничени. При обясненията на това обстоятелство се акцентува на по-голямата им сложност, по-високата цена и главно, на все още недостатъчната им надеждност.

В настоящата работа се изнасят някои резултати от изследванията на един тип маломощен резонансен инвертор /РИ/ в качеството му на високочестотен източник за ИИ. В съответствие с някои специфични потребности на страната е избрана мощност 0.5 ÷ 2.5 kW, честота – 100 kHz, товар във вид на малка индукционна пещ за топене на цветни метали. Изпълнението на РИ е с MOSFET транзистори и високочестотни диоди.

Разнообразието на РИ е систематизирано в [1,2,3,4,5] Избран е инвертор с принудително изключване на приборите преди края на полупериода. Схемата е полумостова. Показана е на фиг.1, заедно със системата за управление в блоков вид. Времениевите диаграми на токовете и напреженията са представени на фиг.2. В съответствие с тях инверторът има следният алгоритъм на дей-

ствие: транзисторите VT1 и VT2 се включват в началото на съответния полупериод при нулев ток, а се изключват с изпреварване  $t_0 = \pi - \lambda$  преди края на полупериода. В момент  $\theta = \lambda$  токът се прехвърля в противоположния диод на изключения транзистор /на-пример от VT1 в VD2 или от VT2 в VD1/.

Теоритичното изследване на инвертора е извършено по метода на хармоничния анализ, съобразен с неговите специфични електромагнитни процеси и времедиаграми на токовете и напреженията. Трябва да се подчертае предварително, че в случая използването на хармоничния анализ по първата хармонична на променливото напрежение е в най-голяма степен правомерно, т.к. променливият ток и променливото напрежение са с форма по-близка до синусоидалната спрямо другите РИ. Действително, при изключването на тока на транзисторите преди края на полупериода се получава "свиване" на импулса на тока, при което той става равен на нула в моментите  $\pi, 2\pi, \dots, n\pi$ , като се изрязва по този начин спадащият му участък с най-голямо затихване.

На фиг.2 за променливия ток с цифрата 1 е означен импулсът на тока, който би се получил, ако инверторът беше без обратни диоди и не се изключваше преди края на полупериода. С цифрата 2 е означен фактическият импулс на тока. В съответствие с това може да се твърди, че импулсът на тока през транзисторите е със честота на собствените колебания

$$\omega'_{ск} = 2\pi f'_{ск} = 2\pi / T'_{ск} \ll \omega_y, \quad (1)$$

т.е. отношението

$$\omega'_{ск} / \omega_y = \pi / (\pi + t_0) \ll 1. \quad (2)$$

Изхождайки от фундаменталното съотношение за РИ [5]

$$\operatorname{tg} \delta > (\omega'_{ск} / \omega_y) \quad \operatorname{tg} \delta = (1.2 \div 1.5) (\omega'_{ск} / \omega_y) \quad (3)$$

и задавайки си  $t_0$

$$t_0 = (0.5 \div 0.8) t_0, \quad (4)$$

$t_0$  е известно по задание/ може да се определи ъгъл  $\delta$ . След това се изчисляват ъгъл  $\varphi_i$  и напрежението  $U'_r$  по формулите [5]:

$$\operatorname{tg} \varphi_i = 0.406 \operatorname{tg} \delta - \sqrt{0.165 \operatorname{tg}^2 \delta - 0.188} \quad (5)$$

$$U'_r = \pi E / [2 \cos(\delta - \varphi_i)] \quad (6)$$

По-нататък е лесно да се определят всички величини и елементи на инвертора:

1) По определения вече ъгъл  $\delta$  и известните параметри на товара се изчислява [5] разстройката  $\zeta_0$  и еквивалентното съп-

отивление  $Re$  на товарния кръг:

$$\xi_0 = \sqrt{\operatorname{tg} \varphi / (\operatorname{tg} \varphi + \operatorname{tg} \psi)} / \sin \varphi \quad (7)$$

$$Re = \xi_0^2 \operatorname{ctg} \varphi / [(\xi_0^2 - 1)^2 + \operatorname{ctg}^2 \varphi] \quad (8)$$

2) Определя се капацитетът  $C$  [5] (9)

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

3) По честотата на собствените колебания  $\omega_{ск}$  [5] (10)

$$\omega_{ск} = \sqrt{[1 / (L_k C_e)] - [Re / (4L_k^2)]},$$

се определя комутиращата индуктивност  $L_k$ . В (10)  $C_e$  и  $Re$  са съответно еквивалентния капацитет и еквивалентното съпротивление на товарния кръг при последователна заместваща схема.

4) Формира се уравнението на тока [5]

$$i(\theta) = E\theta / (\omega L_k) - U_g [\cos(\delta - \varphi_g) - \cos(\delta - \varphi - \theta)] \quad (11)$$

и се определят токовете в транзисторите и обратните диоди в съответствие с интервалите на тяхната работа.

Въз основа на аналитичните зависимости беше извършено проектирането на РИ със следните параметри:

Мощност	$P$	= 0.6	кВ
Работна честота	$f$	= 100	кГц
Напрежение на товара	Утеф	= 75	V
Фактор на мощността	$\cos \varphi_T$	= 0.113	

Получиха се следните данни:

Комутираща индуктивност	$L_k$	= 73.167	μН
Активно съпротивление на товара	$R_T$	= 1.6164	Ω
Индуктивност на товара	$L_T$	= 19.25	μН
Паралелен капацитет на товарния кръг	$C$	= 150.84	μF
Напрежение на товара	$U_T$	= 365.85	V
Ток през транзисторите	$I_{dm}$	= 8.25	A
Ток през обратните диоди	$I_{ao}$	= 0.6	A

$R_T$  и  $L_T$  са параметрите на товара, приведени на първичната страна на понижаващ трансформатор, а всички данни са получени, като е избран  $\operatorname{tg} \delta = 1.3$ .

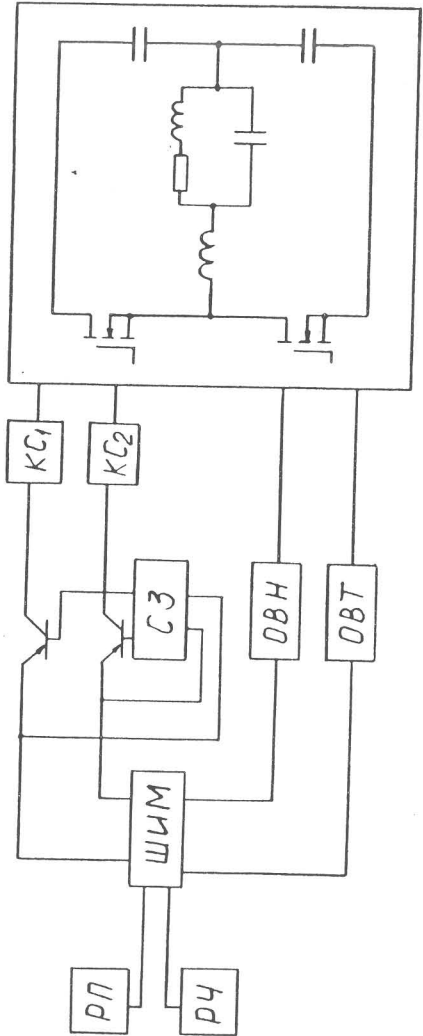
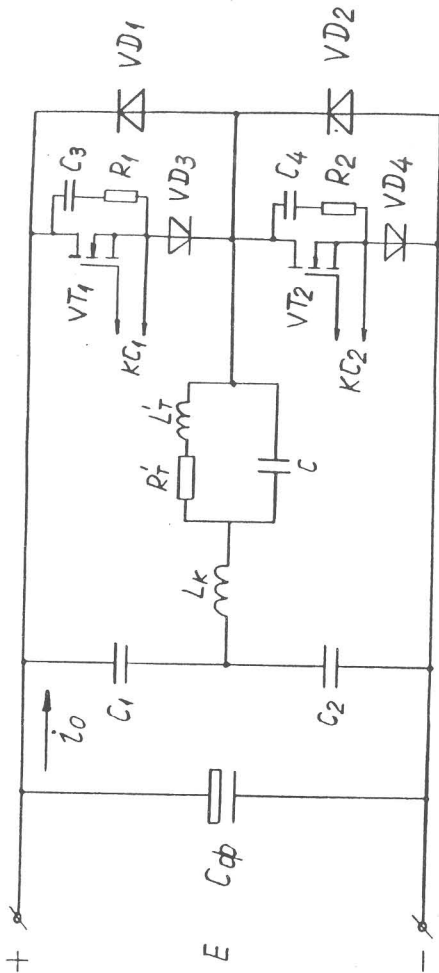
Компютърният експеримент на така оразмерения инвертор чрез програмната система SPICE потвърди с почти пълно съвпадение изчислените елементи и величини, което може да се илюстрира с времедиаграмите, показани на фиг.3.

Инверторът е изследван и чрез реален лабораторен модел, изпълнен въз основа на схемата, показана на фиг.1. На фиг.4 са показани заснетите от модела осцилограми, които до-

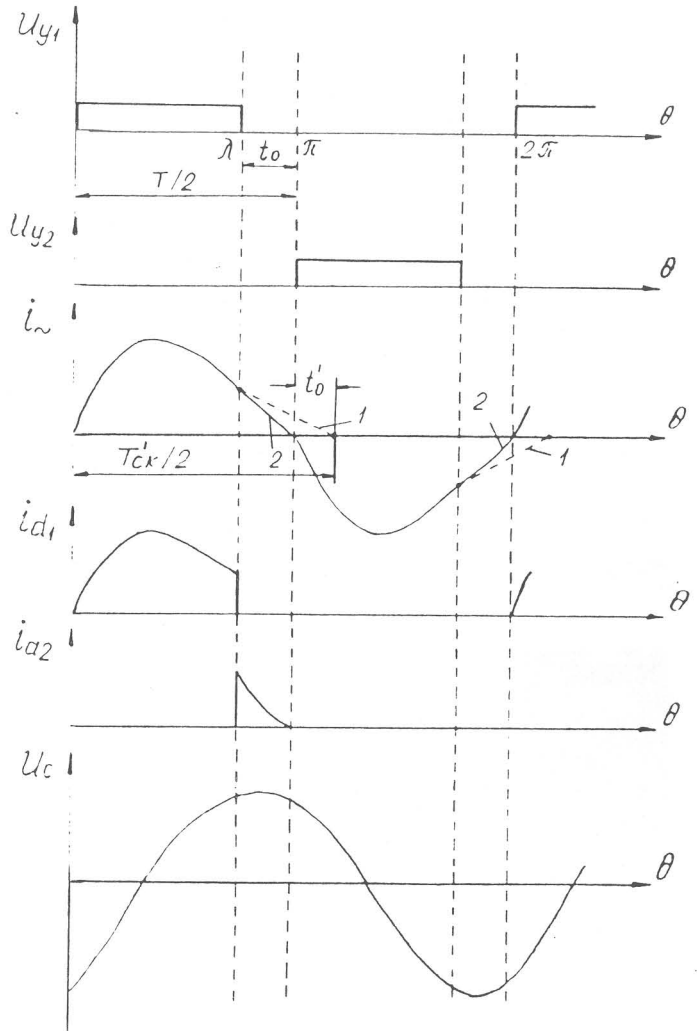
казват теоритичните постановки и изследвания.

#### Л И Т Е Р А Т У Р А :

1. Analysis and Design of a High-Frequency Parallel Resonant Converter Operating Above Resonance, A.K.S. Bhat, M.M. Swamy, IEEE Trans. Ind. Appl., 1988
2. Constant-frequency parallel resonant converter, Chin Yuan, Lee Fred C.Y., IEEE Trans. Ind. Appl., 1989
3. В.С.Руденко, В.И. Сенько, И.М. Чиженко, "Преобразовательная техника", Киев, 1978
4. Т.С. Тодоров, "Единен подход в анализа и проектирането на резонансни инвертори с различни схеми и начин на действие" /работата е поместена в настоящия сборник/
5. В.И. Сенько, Т.С.Тодоров, "Силови електронни устройства", Габрово, 1975

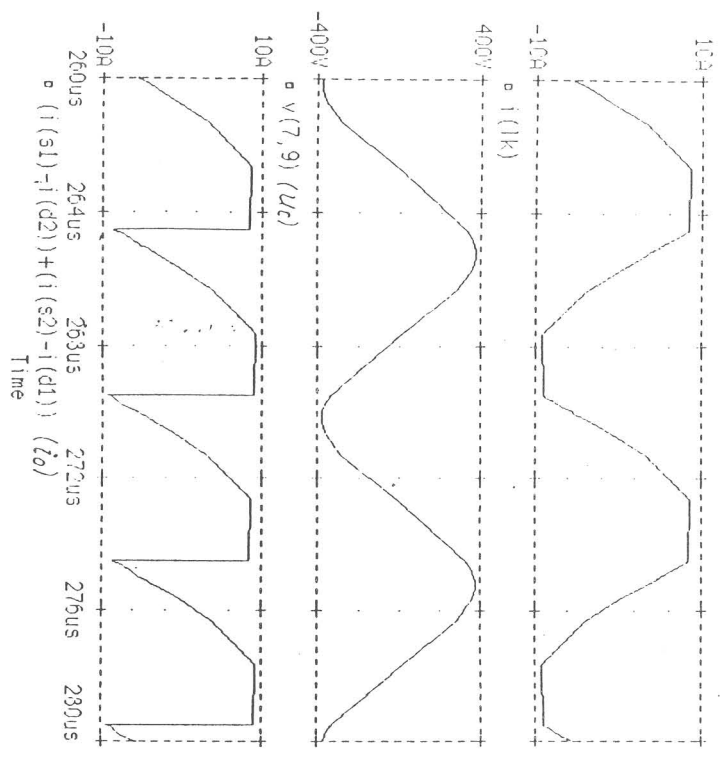


Фиг. 1

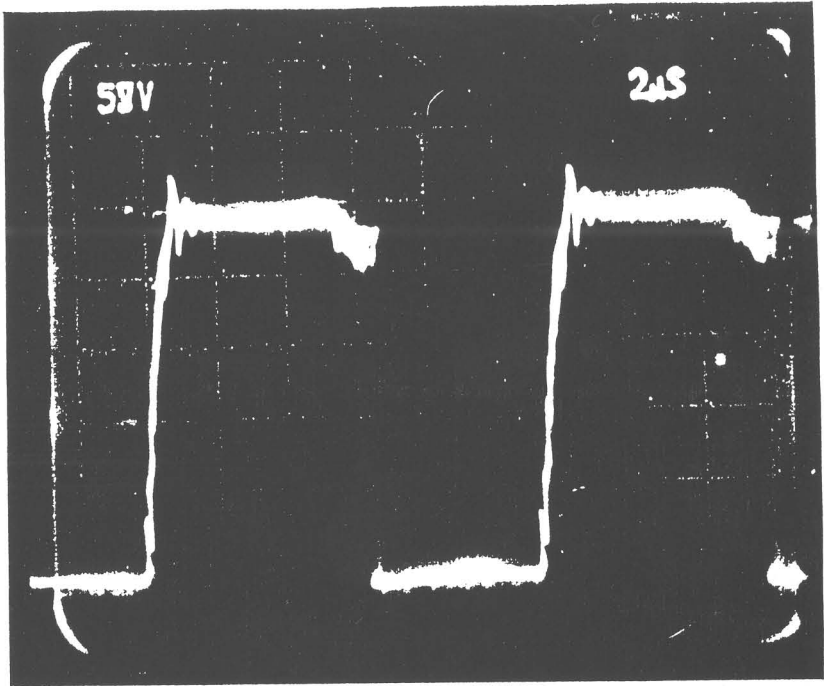


фиг. 2

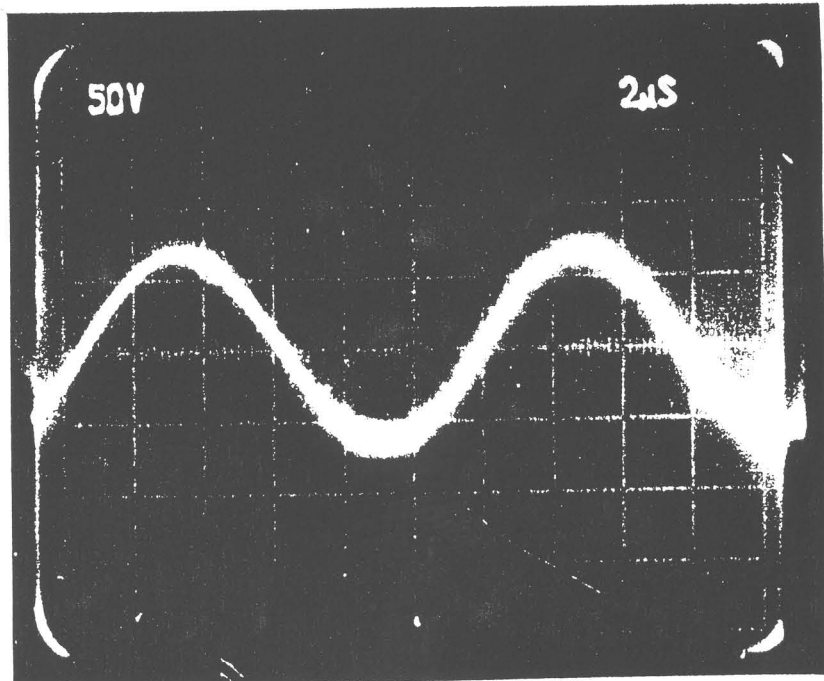
Resonance Inverter 100kHz  
 Date/Time run: 03/01/15 08:43:20 Temperature: 27.0



Фиг. 3



$U_{DS}$



$U_c/3$

фиг. 4