

МОСТОВ РЕЗОНАНСЕН ИНВЕРТОР С ДОЗИРАНЕ НА ЕНЕРГИЯТА

ст.ас.инж.Николай Димитров Маджаров - ТУ Габрово

The present paper is a continuation of the publications discussing self-excited inverters for electrical technology in which harmonization with the variable load is carried out by energy dosing. A methodology is proposed for analysis and design of a full-bridge resonance inverter with reverse diodes of the switching devices and commutation capacitor. The necessary phase correlation of the alternating current and voltage across the tank circuit is proved theoretically and experimentally, the specified power being obtained at that, as well as an operation mode of the switching devices with a zero current of switching on and off.

I ВЪВЕДЕНИЕ

Методът на дозиране на енергията (ДЕ) в преобразувателните устройства за електротехнологията е описан в [1,2,3]. Неговото целенасочено използване в мостов автономен инвертор на ток (АИТ) и полу-мостов резонансен инвертор (РИ), с обратни диоди (ОД) на ключовите прибори и комутиращите кондензатори, е представено съответно в [1,2].

Основният принцип, от който се изхожда при синтезиране на технически целесъобразни схеми, реализиращи посочения метод е следният - същността на ДЕ и поддържане на постоянна мощност, при различни товари, да бъдат заложени в самата работа на автономния инвертор (АИ), т.е. дозирането и инвертирането на енергията да са компилирани в АИ.

Функционалните възможности на метода на ДЕ и използваниите полупровоникови прибори, подчинени на специфичните особености на товара, в случая индукционен нагревател (ИН), наложиха необходимостта от схемно разнообразие. Така например, полуостовия РИ с ДЕ при захранване с постоянно напрежение $E=500V$, дава товарни напрежения в диапазона $U_t=200 \pm 250 V$, за целесъобразните режими на работа. В съответствие с необходимостта от по-високи товарни напрежения и мощностни нива беше синтезиран и мостов РИ с ДЕ, притежаващ и по-добро използване на активните и пасивни елементи. В настоящата работа се предлагат принципната схема на АИ, основните времедиаграми и изчислителни съотношения, за които са налице авторски претенции.

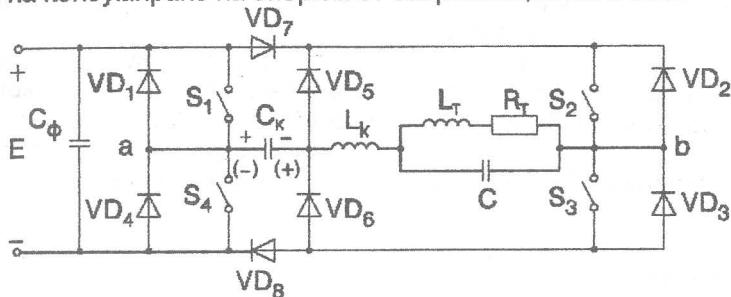
II. ПРИНЦИП НА ДЕЙСТВИЕ НА МОСТОВ АИ С ДЕ

На фиг. фиг. 1 и 2 са представени схемата на мостов АИ с ДЕ и времедиаграмите на величините, характеризиращи работата му в следния ред: на фиг. 2 а - променливия ток в диагонала на АИ; фиг. 2 б - напрежението на комутирация (дозиращ) кондензатор; фиг. 2 в - напрежението на паралелния товарен кръг.

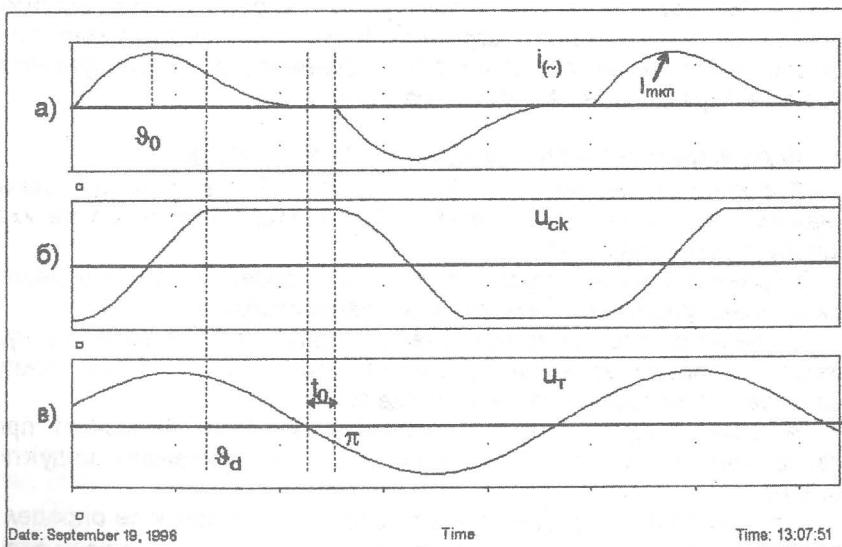
Ключовите прибори (КП) получават управляващи импулси (по

двойки S_1 , S_3 и S_2 , S_4), дефазирани на 180° ел., с продължителност $\pi - t_0$ (t_0 - пауза между управ-ляващите импулси, определяща се от съотношението $t_0 > t_{d(on)} + t_1$ на КП).

При отпушване на S_1 и S_3 започва колебателен процес по веригата S_1 , C_k , L_k , $(R_T, L_T) \parallel C$, S_3 , E , при което напрежението върху C_k започва да се променя от $-E$ (по-ляритата означен в скоби - фиг.2 б), до $+E$ (поляритета означен без скоби - фиг.2 б), фиксирано чрез отпушване на диода VD_6 в момента θ_D . В края на този интервал завършва процеса на ДЕ, т.е. на консумиране на енергия от захранващия източник.



Фиг.1



Фиг.2

През втория интервал $\theta_D + \pi - t_0$, на едновременната работа на S_3 и VD_8 , се осъществява късо съединение на ПТВ през минусовата шина на АИ. Електромагнитните процеси (ЕМП) се развиват на по-ниско енергийно ниво, състоящо се в изолиране на захранващия източник.

Във втория полурериод, импулса на променливия ток , в интервала $\pi + \theta_D$, се формира от тока на едновременно работещите S_2 и S_4 . Сега кондензатора се презарежда от напрежение E (поляритета означен без скоби - фиг.2 б), до напрежение $-E$ (поляритета означен в скоби - фиг.2 б). В интервала на съвместна работа на S_2 и VD_5 , който започва в момента $\theta = \pi + \theta_D$ и продължава до момента $\theta = 2\pi - t_0$, ПТВ е дадена накъсно през минусовата шина.

Поддържането на постоянна мощност в товара се дължи на обстоятелството, че енергията от захранващия източник се консумира винаги през кондензатора C_k , напрежението на който в интервала на К.С. е неизменно и равно на E ($-E$). Енергията - W и респективно мощността - P , консумирана от АИ, се определят от следните изрази:

$$W = 4C_k E^2 = \text{const}$$

$$P = 4C_k E^2 f = EI_0 = \frac{U_{TM}^2 \cos^2 \phi_T}{2R_T} \quad (1)$$

т.е. при неизменна работна честота f , захранващо напрежение E и стойност на кондензатора C_k , мощността отдавана в товара не зависи от параметрите му. Този вътрешен автоматизъм на АИ го прави много гъвкав, в качеството му на източник на високочестотна енергия , в уредбите за индукционно нагряване (ИН) и е предпоставка за успешното решаване на голяма част от проблемите при съгласуването на изходните параметри на АИ и тези на товара.

III.РЕЖИМИ НА РАБОТА НА МОСТОВ АИ С ДЕ

Възможните режими на работа на АИ с ДЕ , се определят основно от начина на протичане на ЕМП. В най-общ вид те могат да се класифицират по следния начин :

1)Границен режим - променливият ток е равен на нула в началото и края на всеки управляващ импулс към транзисторите;

2)Режим с естествено изключване - токът на КП е равен на нула в началото и преди края на управляващите импулси. Този режим е характерен за капацитивна разстройка на ПТВ;

3)Режим с принудително изключване - КП се изключват принудително при ненулев ток. Еквивалентната ПТВ притежава индуктивен характер.

Получаването на всеки един от посочените режими се определя от параметрите на еквивалентната ПТВ. За интервала $0 + \theta_D$, тя се състои от последователно свързани товарен паралелен кръг и последователен кръг, състоящ се от кондензатора C_k и комутиращата индуктивност L_k .

За пълното еквивалентно съпротивление е валиден израза:

$$Z_e = Z_{епар} + Z_{епосл} = R_{епар} + jX_{епар} + jX_{епосл}, \quad (2)$$

където $R_{епар}$ е еквивалентното активно съпротивление на паралелния кръг, а $X_{епар}$ и $X_{епосл}$ - еквивалентни реактивни съпротивления съответно на паралелния и последователни кръгове. При изразяването им чрез относителните параметри

$$\begin{aligned} a &= \frac{C}{C_k} \quad n = \frac{L_k}{L_r} \quad \operatorname{tg}\phi_r = \frac{\omega L_r}{R_r} \quad \omega_{ck} = \frac{1}{\sqrt{L_r C}} \\ \xi_0 &= \frac{\omega_{ck}}{\omega} \quad \xi_{0посл} = \frac{\omega_{ckпосл}}{\omega} = \frac{\xi_0}{\sqrt{n/a}} \end{aligned} \quad (3)$$

може да се определи фазовия ъгъл δ ($\operatorname{tg}\delta$) на еквивалентната ПТВ.

$$\operatorname{tg}\delta = \frac{X_e}{R_e} = \operatorname{tg}\phi_r \left(1 - \frac{1}{\operatorname{tg}^2 \phi_r} - \frac{1}{\xi_0^2} \right) + \operatorname{tg}\phi_r \left(n - a\xi_0^2 + \left(a - \frac{n}{\xi_0^2} \right) \left(2 - \frac{1}{\xi_0^2} - \frac{1}{\operatorname{tg}^2 \phi_r} \right) \right), \quad (4)$$

т.е. $\operatorname{tg}\delta = \operatorname{tg}\psi + \operatorname{tg}\beta$ (ψ и β фазови ъгли за паралелния и последователен кръгове).

За определяне поведението на последователно - паралелния кръг, при различни товарни параметри, трябва да се знаят стойностите на резонансните му честоти. За целта се решава израза $X_e = 0$, при което се получава уравнението:

$$\begin{aligned} \left(\frac{1}{\xi_0^2} \right)^3 + \left(\frac{1}{\xi_0^2} \right)^2 \left(\frac{1}{\operatorname{tg}^2 \phi_r} - \frac{a-1+2n}{n} \right) + \\ + \left(\frac{1}{\xi_0^2} \right) \left(\frac{1+n}{n} - \frac{1}{n-\operatorname{tg}^2 \phi_r} + \frac{2a}{n} - \frac{a}{n \operatorname{tg}^2 \phi_r} \right) - \frac{a}{n} = 0 \end{aligned} \quad (5)$$

В табл.1 е представен вида на еквивалентното съпротивление на последователно - паралелния кръг, в различните диапазони на управляващата честота, дефинирани от корените на (5). С това става възможно определянето на режима в който ще работи преобразувателя и формиране на оценка за техническата му целесъобразност при конкретното приложение.

табл.1

диапазон на управляващата честота ω	$0 < \omega < \omega_1$	$\omega_1 < \omega < \omega_2$	$\omega_2 < \omega < \omega_3$	$\omega_3 < \omega < \infty$
характер на еквивалентния товар в ПТВ	R-C	R-L	R-C	R-L

Надеждната работа на АИ в посочените режими се определя от условията на превключване на КП. Най-благоприятни са тези, при които токът (КНТ) или напрежението (КНН) са нули в момента на комутация.

От теоретичния анализ [1], компютърните и практически експерименти се установи и доказа, че при настроен в резонанс товарен кръг, по първата хармонична на променливия ток, транзисторите включват и изключват при нулев ток. Това на практика означава, че е осигурена зададената пауза - t_0 на дефазиране между напрежението на кръга и действителния променливотоков импулс. Напреженията u_{Lk} и u_c ще имат

също нулева стойност. Това обстоятелство заслужава внимание и следва да се оценява като изключително благоприятно от гледна точка на динамичните загуби в КП и формирането алгоритъма на действие на СУ, при работа с промениливи товари. Стана ясно, че СУ трябва да следи и поддържа между действителния импулс на променилиния ток и напрежението на паралелния кръг, фаза равна на паузата между управляващите импулси - t_0 . Формулираното изискване напрактика се реализира лесно със СУ от вида PLL..

IV.ИЗВОДИ

1. Симетризрана е мостова схема на АИ с ДЕ, подходяща за използване при по-големи мощности и работни напрежения от полумостовата.

2. Изяснени са основните режими на работа и е оценен като най-благоприятен режимът с резонанс на товарния кръг, по първата хармонична на променилиния ток, осигуряващ КНГ и КНН.

3. Установено е, че режимът с настроен в резонанс товарен кръг, може да се получи, като се осигури дефазиране между напрежението на кръга и действителния променилишовоков импулс, фаза равна на паузата - t_0 .

Научно - приложните резултати са по тематика на договор ТН - 457/94, сключен по фонд „Научни изследвания“ към МОНТ.

ЛИТЕРАТУРА

1. Тодоров Т.С., Маджаров Н.Д., Алексиев Д.Т., Иванов П.Т. Автономни инвертори. Габрово 1996г.
2. Todorov T. S., Madgarov N. D., Alexiev D. T., Ivanov P. T. Adaptive Resonant Inverter for Electrotherics. Proceeding PCIM'95, Power Conversion, Nürnberg, Germany, 1995.
3. Булатов О. Г., Царенко А. И., Поляков В. Д. Тиристорно-конденсаторные источники питания для электротехнологии. Москва, Энергоздат, 1989.