

# ИЗСЛЕДВАНЕ НА ТРАНЗИСТОРНИ RLC ИНВЕРТОРИ ПРИ РАБОТА В АПЕРИОДИЧЕН РЕЖИМ

Доц.д-р инж. Евгений Иванов Попов

Технически университет - София

Катедра "Силова електроника"

Транзисторните мостови инвертори с RLC верига в диагонала (фиг.1) намират широко приложение за преобразуване на електрическа енергия, особено с високи честоти [1], [2], [3]. Те най-често работят в колебателен режим ( $R < 2\sqrt{\frac{L}{C}}$ ). Тогава за изследване на електромагнитните процеси в инвертора в установен режим на работа с малка модификация може да се използува методът за анализ на тиристорни резонансни инвертори с обратни диоди, предложен в [4], [5].

В някои случаи най-често поради изменение на товара на инвертора е възможно RLC веригата в диагонала на моста да се намира в апериодичен или в критично-апериодичен режим.

Цел на настоящата работа е да се изследва транзисторен мостов RLC инвертор при апериодичен характер на процесите в него

$$R > 2\sqrt{\frac{L}{C}} \quad (1)$$

Тогава по аналогия с колебателния режим се дефинират параметрите

$$\delta = \frac{R}{2L} \quad (2)$$

и

$$\Omega = \sqrt{\frac{R^2}{4L^2} - \frac{1}{LC}} = \sqrt{\delta^2 - \frac{1}{LC}} \quad (3)$$

Формата на тока  $i$  в инверторната верига е показана на фиг.2. Еквивалентната схема, когато провеждаме диодите VD1,3 или транзисторите VT1,3, е показана на фиг.3. Токът в инверторната верига в интервала  $0-\theta_2$  се изразява с

$$i = \frac{\dot{U}_d + U_0}{\Omega L} e^{-\alpha} sh\Omega t - I_0 e^{-\alpha} \left( ch\Omega t - \frac{\delta}{\Omega} sh\Omega t \right) \quad (4)$$

Напрежението на кондензатора  $C$  е

$$U_C = U_d - (U_d + U_0)e^{-\delta t} (ch \Omega t + \frac{\delta}{\Omega} sh \Omega t) - \frac{I_0}{\Omega C} e^{-\delta t} sh \Omega t \quad (5)$$

Величината  $\theta_2$  е

$$\theta_2 = \frac{\Omega}{\omega} \pi \quad (6)$$

къдемо

$$\omega = 2\pi f \quad (7)$$

е честотата на управление.

За определянето на началните условия за тока  $i$   $I_0$  и за напрежението  $u_C$   $U_0$  се използуват условията

$$i(0) = -i(\theta_2) = -I_0 \quad (8)$$

$$u_C(0) = -u_C(\theta_2) = -U_0 \quad (9)$$

$$i(\theta_1) = 0 \quad (10)$$

Камо се използува (10) се определя коефициентът

$$a_A = \frac{I_0 \Omega L}{U_d + U_0} = \frac{th \theta_1}{1 - \frac{\delta}{\Omega} th \theta_1} \quad (11)$$

Камо се вземе в предвид (8) се установява, че

$$a_A = \frac{sh \theta_2}{e^{\frac{\delta}{\Omega} \theta_2} + ch \theta_2 - \frac{\delta}{\Omega} sh \theta_2} \quad (12)$$

Ом (11) и (12) се определя

$$\theta_1 = Arth \frac{sh \theta_2}{e^{\frac{\delta}{\Omega} \theta_2} + ch \theta_2} \quad (13)$$

От условието (9) се получава началното напрежение на кондензатора С в относителни единици

$$U_0' = \frac{U_0}{U_d} = 2K_A - 1 \quad (14),$$

къдемо коефициентът  $K_A$  е

$$K_A = \frac{1}{1 + e^{\frac{-\delta}{\Omega} \theta_2} [(-a_A + \frac{\delta}{\Omega} + a_A \frac{\delta^2}{\Omega^2}) sh \theta_2 + ch \theta_2]} \quad (15)$$

Моментната стойност на тока  $i$  в инверторната верига в относителни единици  $I'$  във функция от

$$\theta = \Omega t \quad (16)$$

е

$$i'(\theta) = \frac{i(\theta)}{\frac{U_d}{\Omega L}} = 2K_A e^{-\frac{\delta \theta}{\Omega}} \left[ \left(1 + a_A \frac{\delta}{\Omega}\right) \sinh \theta - a_A \cosh \theta \right] \quad (17)$$

Моментната стойност на напрежението на кондензатора С в относителни единици е

$$u_C'(\theta) = \frac{u_C(\theta)}{U_d} = 1 - 2K_A e^{-\frac{\delta \theta}{\Omega}} \left[ \left(-a_A + \frac{\delta}{\Omega} + a_A \frac{\delta^2}{\Omega^2}\right) \sinh \theta + a_A \cosh \theta \right] \quad (18)$$

Максималното напрежение на кондензатора С в относителни единици се определя от условието

$$u_C'(\theta_1) = -U_{Cm}' \quad (19)$$

е

$$U_{Cm}' = \frac{U_{Cm}}{U_d} = 2 \left( \frac{K_A}{K_{A1}} - K_A \right) - 1 \quad (20),$$

където коефициентът  $K_{A1}$  е

$$K_{A1} = \frac{1}{1 + e^{-\frac{\delta \theta_1}{\Omega}} \left[ \left(-a_A + \frac{\delta}{\Omega} + a_A \frac{\delta^2}{\Omega^2}\right) \sinh \theta_1 + a_A \cosh \theta_1 \right]} \quad (21)$$

Средната стойност на тока в инверторната верига в интервала  $0-\theta_2$  в относителни единици е

$$I_d' = \frac{I_d}{\frac{U_d}{\Omega L}} = \frac{1}{\theta_2} \int_0^{\theta_2} i'(\theta) d\theta = \frac{1}{\theta_2} \cdot \frac{2(2K_A - 1)}{\frac{\delta^2}{\Omega^2} - 1} \quad (22)$$

Полага се

$$I_1' = \frac{I_1}{\frac{U_d}{\Omega L}} = \frac{1}{\theta_2} \int_0^{\theta_2} i'(\theta) d\theta = \frac{1}{\theta_2} \cdot \frac{2(2K_{A1} - 1)}{\frac{\delta^2}{\Omega^2} - 1} \cdot \frac{K_A}{K_{A1}} \quad (23)$$

и

$$I_2' = \frac{I_2}{\frac{U_d}{\Omega L}} = \frac{1}{\theta_2} \int_{\theta_1}^{\theta_2} i'(\theta) d\theta = \frac{1}{\theta_2} \cdot \frac{2}{\frac{\delta^2}{\Omega^2} - 1} \cdot \left( \frac{K_A}{K_{A1}} - 1 \right) \quad (24)$$

Тогава средният ток през генератора в относителни единици е

$$I_{VDAv}' = \frac{I_{VDAv}}{\frac{U_d}{\Omega L}} = -I_1' \quad (25),$$

а средният ток през транзисторите в относителни единици е

$$I_{VTav}' = \frac{I_{VTav}}{\frac{U_d}{\Omega L}} = I_2' \quad (26)$$

Валидно е съотношението

$$I_d' = I_1' + I_2' \quad (27)$$

От зависимостите (11) и (14) се получава, че началният ток в относителни единици е

$$I_0' = \frac{I_0}{\frac{U_d}{\Omega L}} = 2a_A K_A \quad (28)$$

Постояннотоковата мощност, койсумирана от захранващия източник, в относителни единици е

$$P_d' = \frac{P_d}{\frac{U_d^2}{\Omega L}} = \frac{\frac{U_d I_d}{2}}{\frac{U_d^2}{\Omega L}} = I_d' \quad (29)$$

От израза за променливотоковата мощност  $P = I^2 R$ , като се приеме, че k.n.g.  $\eta \rightarrow 1$  се получава зависимостта за ефективната стойност на тока в инверторната верига

$$I' = \frac{I}{\frac{U_d}{\Omega L}} = \sqrt{\frac{\Omega I_d'}{2\delta}} \quad (30)$$

Мостовият транзисторен инвертор на напрежение с активно-индуктивен товар се явява частен случай на транзисторния RLC инвертор при работа в апериодичен режим, като  $C = \infty$ ,  $\Omega = \delta$ . При полумостова схема вместо напрежението  $U_d$  трябва да се използува  $\frac{U_d}{2}$ , което ще доведе до малки промени в горните математически изрази.

С помощта на гореизложената методика са изчислени параметрите на установения режим на транзисторен мостов RLC инвертор при работа в апериодичен режим. Изходните данни са следните:  $U_d = 54$  V;  $L = 22\mu H$ ;  $C = 0,5\mu F$ ;  $R = 16,4\Omega$ ;  $f = 50000$  Hz. Получени са следните стойности на параметрите:  $\delta = 3,7273 \cdot 10^5$  s<sup>-1</sup>;  $\Omega = 2,1913 \cdot 10^5$  s<sup>-1</sup>;

$\theta_2=2,1913$ ;  $\theta_1=9,6127 \cdot 10^{-2}$ ;  $a_A=0,1145$ ;  $K_A=0,76175$ ;  $K_{Ai}=0,49755$ ;  $U_0=28,269$  V;  $U_{cm}=29,079$  V;  $I_0=1,954$  A;  $I_d=2,8269$  A;  $P_d=152,65$  W;  $I_{VTav}=2,8644$  A;  $I_{VDav}=0,040511$  A;  $I=3,0509$  A.

С помощта на програмата PSPICE е извършена компютърна симулация на изследвания инвертор. Времедиаграмите на тока в инверторната верига и на напрежението на кондензатора  $u_C$  са показани съответно на фиг.4 и фиг.5. Необходимо е да се подчертава, че съществува пълно съвпадение между резултатите, получени от ръчното изчисление и от компютърната симулация. От това следва, че предложената методика за анализ на транзисторни мостови RLC инвертори при работа в апериодичен режим е пригодна за практиката.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Ashoka K., Bhat S. "A unified approach for the steady-state analysis of resonant converters" IEEE Transactions on Industrial Electronics, Vol.38, No.4, August 1991.
2. Вълчев С.С., Кръстев Г.Г. "Работа на сериен резонансен преобразувател на енергия на честоти, различаващи се от резонансната" Сборник доклади на XXI научна сесия "Ден на Радиото", том II, 7.5.1988 г.
3. Valtchev St.S., Klaasens J.B. " Efficient resonant power conversion" IEEE Transactions on Industrial Electronics, Vol.37, No.6, December 1990.
4. Караб Р.Д. "Върху общата теория на последователните инвертори с обратни диоди и без обратни диоди" Сборник доклади на Научната сесия по случай Деня на радиото, том III, Електронна техника, 7.5.1975 г.
5. Начев Н.А., Малеев Г.Ю. "Силова електроника" Издателство "Техника", София, 1979 г.

#### INVESTIGATION OF TRANSISTOR RLC INVERTERS,

#### WORKING IN APERIODICAL REGIME

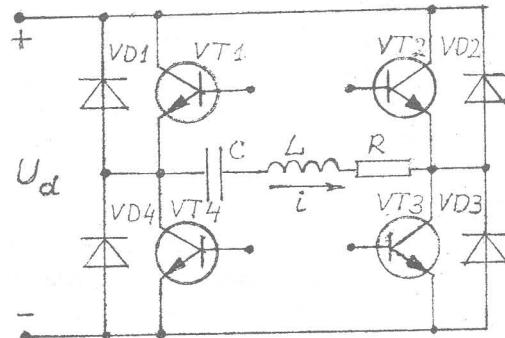
Assoc.Prof. Eugene Ivanov Popov, Ph.D.

Technical University - Sofia

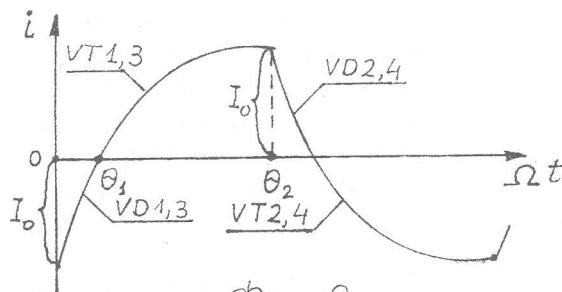
Department of Power Electronics

#### Summary

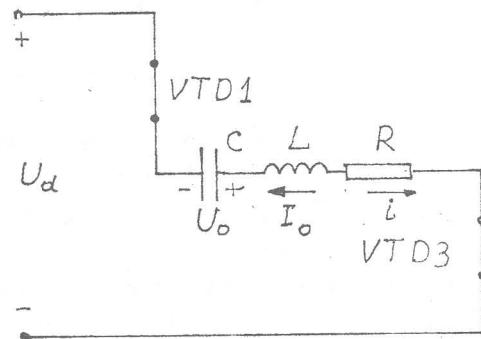
In this report a method is proposed for investigation and analysis of the steady-state processes, taking place in transistor bridge RLC inverters with free-wheeling diodes, working in aperiodical regime ( $R > 2\sqrt{L/C}$ ). The method of transitory values has been applied. Mathematical expressions for parameters, characterizing the inverter action have been derived. The coincidence between the results, obtained from the proposed method and from computer simulation for concrete practical example confirms the applicability of the developed method for analysis.



Фиг. 1.



Фиг. 2.

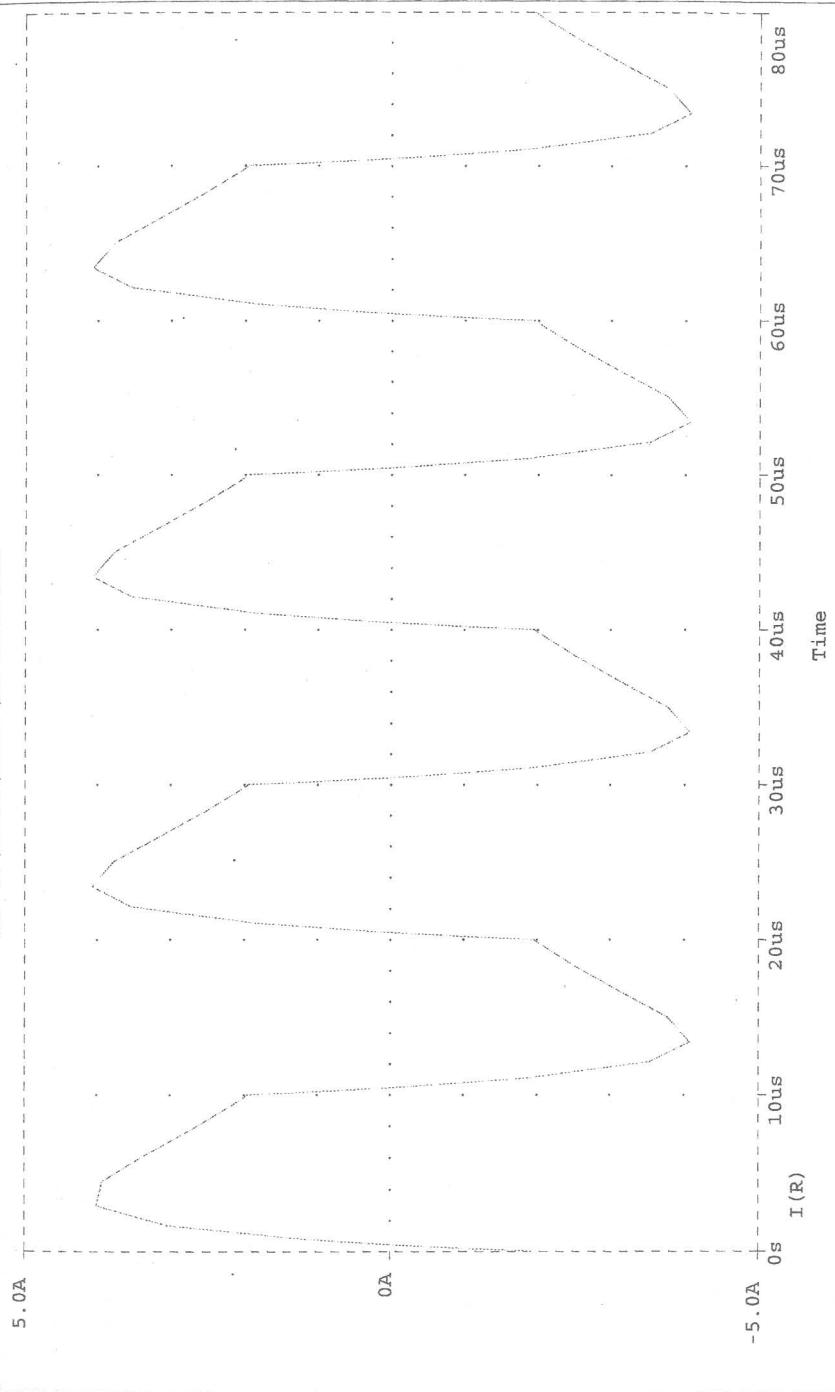


Фиг. 3.

Date/Time run: 06/03/96 14:03:41 Transistor bridge RLC inverter. Steady-state process.

Temperature: 27.0

(A) C:\USERS\POPOV\TBRLCIA.PAT



Date/Time run: 06/03/96 14:03:41 Transistor bridge RLC inverter. Steady-state process.

Temperature: 27.0

(A) C:\USERS\POPOV\TBRLCIAP.DAT

