

ИЗСЛЕДВАНЕ НА АВТОНОМНИ ИНВЕРТОРИ НА НАПРЕЖЕНИЕ

доц. ктн. инж. Димитър Димов Юдов ВМЕИ - ВАРНА

ст. ас. инж. Ивайло Богданов Цекков ВМЕИ - ВАРНА

ас. инж. Виктор Йорданов Борисов ВМЕИ - ВАРНА

ст. ас. инж. Георги Евтимов Тодоров ВМЕИ - ВАРНА

В системите за гарантирано захранване най-широко приложение намират инверторите на напрежение. В различни случаи в зависимост от стойността на захранващото напрежение, стойността и характера на товара, изискванията към захранващото напрежение и др. се предпочитат една или друга схема.

В настоящата работа се анализират две схеми - разновидности на автономен инвертор на напрежение със средна точка на изходния трансформатор.

Първата схема (Фиг. 1а - сх.1) има два комутиращи тиристора (VS_2, VS_4) и един комутиращ кондензатор (C). Втората схема (Фиг. 1б - сх.2) има един комутиращ тиристор ($VS_{2,4}$) и два комутиращи кондензатора (C_1, C_2). Схема 2 има допълнително два зарядни диода (VD_3, VD_4).

Ако приемем, че в интервала $\Delta t = 0 \div t_1$ е отпушен тиристор VS_1 (за двете схеми) следва зареждане на кондензатора C (C_1 за сх.2) от захранващия източник E , през неработещата в момента първична намотка на трансформатора (W_{12}) и отпушения тиристор VS_1 . В момента $t = t_1$ се отпушва комутиращият тиристор VS_2 ($VS_{2,4}$), който прилага през захранващия източник обратно напрежение върху работещия тиристор и го запушва. Следва заряд на кондензатора C (C_1) и презареждането на C (C_2) при отпушването на другия работен тиристор VS_3 . По-нататък процесите са аналогични.

Последователността в работата на тиристорите е показана в табл. 1 чрез логическите променливи T_1 до T_4 и B_1, B_2 , където:

	$0 \div t_1$	$t_1 \div t_2$	$t_2 \div t_3$	$t_3 \div t_4$
T_1	1	0	0	0
T_2	0	1	0	0
T_3	0	0	1	0
T_4	0	0	0	1
B_1	1	0	1	0
B_2	0	1	1	0

$T_i = 1$ - включен тиристор VS_i

$T_i = 0$ - изключен тиристор VS_i

табл. 1

От принципа на работа на инверторите и табл.1 се вижда, че извън комутационния интервал винаги работи само един тиристор, от което следва, че схемата трябва да се описва поинтервално.

След направените общоприети допускания за идеалност на вентилите, захранващия източник и трансформатора (пренебрегва се намагнитващия контур) е съставена еквивалентна схема на инверторите (Фиг.3).

С пунктирна линия са дадени допълнителните елементи, които са включени в сх.2, като се изключат от модела за сх.1 кондензатора С и конутиращите тиристори VS₂, VS₄, чиито функции се изпълняват от кондензаторите С₁, С₂ и конутиращия тиристор VS_{2,4}.

Заместващата схема на трансформатора включва индуктивностите на разсейване на трите намотки (W₁₁, W₁₂, W₂), активните им съпротивления (R₁' , R₂, R₃'), приведени към намотката W₁₂ и два идеални трансформатора (Tr₁, Tr₂) [1,2]. Коефициентите на трансформация на трансформаторите са:

$$k_{tr1} = \frac{W_{11}}{W_{12}} = 1$$

След като съставим поинтервално системите диференциални уравнения (СДУ), отразяващи състоянието на сх.1 при работа на отделните тиристори и ги обединим посредством логическите функции (табл.1), получаване обобщена СДУ (1),

$$\left\{ \begin{aligned} p \cdot I_1 &= \frac{1}{L_1' + L_2 + L\Phi_1'} \cdot \left[B_1 \cdot E + B_2 \cdot U_c - R_2 \cdot I_1 - R_1' \cdot (I_1 - I_2') - \right. \\ &\quad \left. - U_c \Phi_1' - U_c \Phi_2' + p \cdot I_{22}' \cdot (L_1' + L\Phi_1') \right] \\ p \cdot I_2' &= \frac{1}{L_1' + L_3' + L\Phi_1'} \cdot \left[B_1 \cdot E + \bar{B}_2 \cdot U_c - R_3' \cdot I_2' + R_1' \cdot (I_1 - I_2') + \right. \\ &\quad \left. + U_c \Phi_1' + U_c \Phi_2' + p \cdot I_{11}' \cdot (L_1' + L\Phi_1') \right] \\ p \cdot I_d' &= \frac{1}{L\Phi_2} \cdot \left[U_c \Phi_2' - R_d' \cdot I_d' \right] \\ p \cdot U_c &= \frac{1}{C} \cdot \left[\bar{B}_2 \cdot I_2' - B_2 \cdot I_1 \right] \\ p \cdot U_c \Phi_1' &= \frac{1}{C\Phi_1'} \cdot \left[I_1 - I_2' \right] \\ p \cdot U_c \Phi_2' &= \frac{1}{C\Phi_2'} \cdot \left[I_1 - I_2' - I_d' \right] \end{aligned} \right. \quad (1)$$

$$\text{където: } \left\{ \begin{array}{l} p \cdot I_{11} = p \cdot I_1 \quad \text{при } I_1 > 0 \\ p \cdot I_{11} = 0 \quad \quad \text{при } I_1 = 0 \\ p \cdot I_{22}' = p \cdot I_2' \quad \text{при } I_2' > 0 \\ p \cdot I_{22}' = 0 \quad \quad \text{при } I_2' = 0 \end{array} \right. \quad (2)$$

Аналогично за сх.2 получаване обобщена СДУ (3):

$$\left\{ \begin{array}{l} p \cdot I_1 = \frac{1}{L_1' + L_2 + L\Phi_1'} \cdot \left[B_1 \cdot E + \bar{T}_1 \cdot U_{c1} - T_2 \cdot U_{c2} - (R_1' + R_2) \cdot I_1 + \right. \\ \quad \left. + R_1' \cdot I_2' - U_{c\Phi_1}' - U_{c\Phi_2}' + p \cdot I_{22}' \cdot (L_1' + L\Phi_1') \right] \\ p \cdot I_2' = \frac{1}{L_1' + L_2' + L\Phi_1'} \cdot \left[B_1 \cdot E + T_1 \cdot U_{c1} + (\bar{B}_1 - T_1) \cdot U_{c2} + R_1' \cdot I_1 - \right. \\ \quad \left. - (R_1' - R_2') \cdot I_1 + U_{c\Phi_1}' + U_{c\Phi_2}' + p \cdot I_{11} \cdot (L_1' + L\Phi_1') \right] \\ p \cdot I_d' = \frac{1}{L\Phi_2} \cdot \left[U_{c\Phi_2}' - R_d' \cdot I_d' \right] \\ p \cdot U_{c1} = \frac{1}{C_1} \cdot I_{c1} \\ p \cdot U_{c2} = \frac{1}{C_2} \cdot I_{c2} \\ p \cdot U_{c\Phi_1}' = \frac{1}{C\Phi_1'} \cdot \left[I_1 - I_2' \right] \\ p \cdot U_{c\Phi_2}' = \frac{1}{C\Phi_2'} \cdot \left[I_1 - I_2' - I_d' \right] \end{array} \right. \quad (3)$$

За система (3) са валидни условията (2) и (4):

$$\left\{ \begin{array}{l} I_{c1} = T_1 \cdot I_2' - \bar{T}_1 \cdot I_1 \quad \text{при } U_{c1} > 0 \\ I_{c1} = 0 \quad \quad \quad \text{при } U_{c1} = 0 \\ I_{c2} = T_2 \cdot I_1 - \bar{T}_2 \cdot I_2' \quad \text{при } U_{c2} > 0 \\ I_{c2} = 0 \quad \quad \quad \text{при } U_{c2} = 0 \end{array} \right. \quad (4)$$

СДУ са решени за автономни инвертори, изпълнени по сх.1 и сх.2 със следните данни: $E=60\text{V}$, $C=C_1=C_2=10\mu\text{F}$, $L_1'=-1.58\text{mH}$, $L_2=L_2'=3.46\text{mH}$, $R_1'=0.1\Omega$, $R_2=0.2\Omega$, $R_2'=0.2\Omega$, $k_{tr1}=5.85$, $C\Phi_1=34\mu\text{F}$, $L\Phi_1=242\text{mH}$, $L\Phi_2=50\text{mH}$, $C\Phi_2=21\mu\text{F}$, $R_d=140+850\Omega$, $t_p=5\text{ms}$.

След като намерим неизвестните в система (1) и (3) определяме натоварването на тиристорите по напрежение $U_{ak\text{пр}}$, $U_{ak\text{обр}}$ и схемното време за възстановяване t_q , където напреженията на работен и конутиращ тиристор, съответно за сх.1 и сх.2 са дефинирани от (5) и (6):

$$\left\{ \begin{array}{l} U_{ak1} = T_2 \cdot (E - U_c) - T_2 \cdot U_c + T_4 \cdot E \\ U_{ak2} = T_1 \cdot (U_c - E) - T_2 \cdot E + T_4 \cdot U_c \end{array} \right. \quad (5)$$

$$\begin{aligned}
 U_{ak1} &= T_2 \cdot (E - U_{c1}) + T_3 \cdot (U_{c2} - U_{c1}) + T_4 \cdot (E - U_{c1}) \\
 U_{ak2,4} &= T_1 \cdot (U_{c1} - E) + T_5 \cdot (U_{c2} - E)
 \end{aligned}
 \quad (6)$$

Получени са времедиаграми и графични зависимости за изследваните схеми, които имат много добро съвпадение с експерименталните резултати при участъците в които напреженията върху елементите са допустими за реалния модел.

В приложение 1 са дадени само някои от получените графични зависимости, които потвърждават направените изводи. Величините са дадени в относителни единици, като:

$$U_{ak*} = \frac{U_{ak}}{E}, \quad t_{q*} = \frac{t_q}{T/2}, \quad R_d* = \frac{R_{dnom}}{R_d}$$

От направените теоретични и експериментални изследвания на схемата могат да се направят следните изводи:

1. Двете схеми имат много близки енергетични характеристики.
 2. В двете схеми съществуват, като недостатък, интервали на едновременна проводимост на отсичащите диоди (VD_1, VD_2). Това по-силно е изразено в схема 2.

3. Времето за възстановяване (t_{q1}) за работните тиристори при натоварване намалява, като това по-силно е подчертано при сх.1.

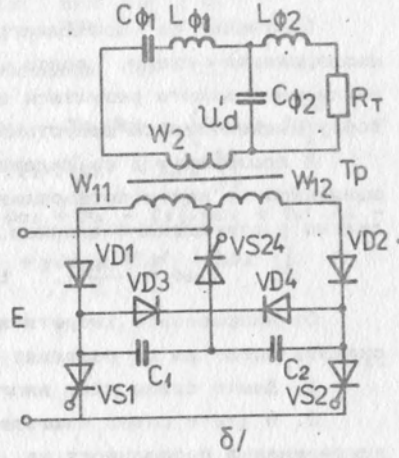
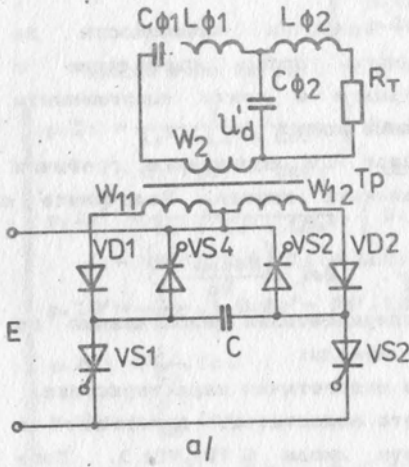
4. Времето за възстановяване (t_{q2}) на комутиращите тиристори за сх.2 нараства с нарастването на товара, а за сх.1 това време се определя от интервала на проводимост на работния тиристор.

5. Натоварването на тиристорите по напрежение $K_u = \frac{U_{ak \max}}{E}$ е по-голямо при сх.2.

Използувана литература:

1. Коротков Б. А., Попков Е. М. Алгоритмы имитационного моделирования переходных процессов в электрических системах
2. Вольдек А. И. Электрические машины
3. Цевков И. Б., Борисов В. Я. Моделиране на вентилни преобразователни схеми
4. АС № 37215 Петков Р. и др.
5. заявка за АС № 92132/08.06.90 Юдов Д. Д. и др.

Приложение 1



$\Phi_{ur.1}$

