

ИССЛЕДОВАНИЕ ДЕМПИРУЮЩЕЙ ЦЕПИ ТИРИСТОРНОГО ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЯ ВЫСОКОЙ ЧАСТОТЫ

В настоящее время в преобразователях высокой частоты для электротермии широко используются силовые тиристоры и диоды. Вследствие высокой чувствительности их к перенапряжениям необходимо предусматривать специальные меры защиты, состоящие в основном из последовательно включенных диода и конденсатора [1,3]. С целью разряда конденсатора подключается резистор. Введение в силовую схему инвертора дополнительных цепей ведет к снижению КПД за счет потерь в демпфирующих элементах. Эти потери зависят от параметров силовой и демпфирующей цепей и могут достигать значительной величины. Следовательно, для увеличения КПД преобразователей без снижения их надежности важно правильно рассчитать параметры элементов демпфирующих цепей.

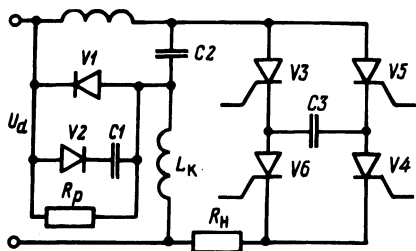


Рис. 1. Принципиальная схема инвертора.

В данной работе рассматривается методика расчета параметров этих элементов для тиристорного инвертора со стабилизацией внутренних токов и напряжений, схема которого представлена на рис. 1 и описана в [2]. Следует отметить, что главной причиной коммутационных перенапряжений в рассматриваемой схеме является обрыв обратного тока диодом V1 в момент восстановления им запирающих свойств в обратном направлении.

Величина энергии W_L , запасаемой в индуктивности L_K от протекания обратного тока, согласно [3] равна

$$W_L = \frac{U_d^2 t_{BO}^2}{2L_K}, \quad (1)$$

где U_d - напряжение источника питания; t_{BO} - время восстановления диодом запирающих свойств в обратном направлении; L_K - индуктивность коммутирующего дросселя. В преобразователе, работающем с частотой f , мощность P_1 потерь в демпфирующих элементах от обрыва обратного тока диода составляет

$$P_1 = f \frac{U_d^2 t_{BO}^2}{2L_K} \quad (2)$$

В низкочастотных преобразователях вся эта мощность выделяется в разрядном резисторе R_p (рис. 1). С увеличением частоты инвертирования возрастают потери в демпфирующем конденсаторе C_1 .

Для выбора параметров демпфирующей цепи V_2, C_1, R_p определим сначала величину изменения напряжения на конденсаторе C_1 при получении импульса энергии W_L . Приравнявая значение энергии, запасаемой в L_K и получаемой конденсатором C_1 , получаем

$$\Delta U = \sqrt{U_0^2 + \frac{U_d^2 t_{BO}^2}{CL_K}} - U_0, \quad (3)$$

где ΔU — величина изменения напряжения на конденсаторе C_1 ; U_0 — начальное напряжение на конденсаторе C_1 ; C — величина емкости конденсатора C_1 .

Запасенная в конденсаторе C_1 энергия рассеивается при аperiодическом разряде через резистор R_p . Для такого разряда можно записать

$$u(t) = Ue^{-\frac{t}{\tau}},$$

Полагая, что $u(t_1) = U_0$ и $U = U_0 + \Delta U$, можно записать следующую систему:

$$\begin{cases} U_0 = (U_0 + \Delta U) e^{-\frac{t_1}{\tau}}; \\ \Delta U = \sqrt{U_0^2 + \frac{U_d^2 t_{BO}^2}{CL_K}} - U_0, \end{cases} \quad (4)$$

где $\tau = RC$; R — величина сопротивления разрядного резистора R_p ; $t_1 \approx \frac{1}{f}$.

Решая систему (4), имеем

$$U_0 = \sqrt{\frac{U_d^2 t_{BO}^2}{2t_1}}; \quad (5)$$

$$L_K C (e^{-\frac{1}{\tau}} - 1)$$

$$\Delta U = \sqrt{\frac{U_d^2 t_{BO}^2}{2t_1} + \frac{U_d^2 t_{BO}^2}{CL_K}} - \sqrt{\frac{U_d^2 t_{BO}^2}{2t_1}}. \quad (6)$$

$$L_K C (e^{-\frac{1}{\tau}} - 1)$$

Уравнения (5) и (6) позволяют определить величину максимального напряжения U_{\max} , до которого будет заряжаться конденсатор при работе установившейся в установившемся режиме, что необходимо для выбора номинального напряжения конденсатора, $U_{\max} = U_0 + \Delta U$. Задаваясь величинами U_0 , ΔU и используя уравнения (5) – (6), можно определить величины R и C для конкретного преобразователя.

Для инвертора, выполненного по схеме рис. 1, рекомендуется брать $U_0 \geq 4U_d$. Из принципа работы схемы следует, что на коммутирующем дросселе при включении тиристорov $V3, V4$ или $V5, V6$ возникает напряжение величиной $3U_d$ с полярностью, указанной на рис. 1. Это напряжение, суммируясь с напряжением источника U_d , прикладывается к диоду $V1$ в обратном направлении и осуществляет заряд конденсатора $C1$ до величины $4U_d$ даже при отсутствии коммутационных перенапряжений. Таким образом, при наличии коммутационных перенапряжений и глубоком разряде конденсатора $C1$, когда $U_0 < 4U_d$, последний дважды за период выходной частоты инвертора получает энергию из силовой схемы. Увеличение частоты приводит к возрастанию потерь в конденсаторе $C1$ и резисторе R_p . При увеличении U_0 до $4U_d$ и выше устраняется дополнительный заряд конденсатора $C1$, одновременно с этим снижается величина переменной составляющей на нем, что следует из уравнения (6).

Приняв величину $U_0 = \kappa U_d$ ($\kappa \geq 4$), из уравнения (5) можно определить постоянную разряда τ

$$\tau = \frac{2t_1}{\ln\left(1 + \frac{t_{BO}^2}{\kappa^2 L_K C}\right)} \cdot \quad (5)$$

Согласно (6) – (7) и выражению $U_{\max} = U_0 + \Delta U$ можно записать величину амплитуды напряжения на демпфирующем конденсаторе $C1$

$$U_{\max} = \sqrt{\frac{U_d^2 t_{BO}^2}{\ln\left(1 + \frac{t_{BO}^2}{\kappa^2 L_K C}\right)} + \frac{U_d^2 t_{BO}^2}{CL_K}} \cdot L_K C [e^{-1}] \quad (8)$$

Для тиристорных преобразователей частоты, питание которых осуществляется через мостовой выпрямитель от трехфазной сети 380 В и в которых используются распространенные диоды В4, были рассчитаны семейства зависимостей $U_{\max} = \varphi(L_K)$ и $\tau = f(L_K)$. На рис. 2 представлены зависимости

$U_{\max} = \varphi(L_K)$ для частоты 10 кГц и емкости конденсатора С1: 1 – 0,1 мкФ; 2 – 0,25 мкФ; 3 – 0,5 мкФ. На рис. 3 изображены зависимости $\tau = f(L_K)$ для частоты 10 кГц и емкости конденсатора С1: 1 – 0,1 мкФ; 2 – 0,25 мкФ; 3 – 0,5 мкФ.

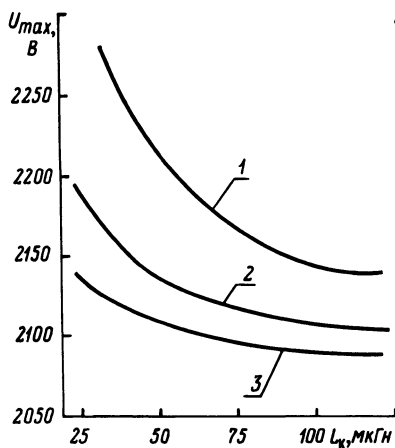


Рис. 2. Зависимости $U_{\max} = \varphi(L_K)$ для $f = 10$ кГц.

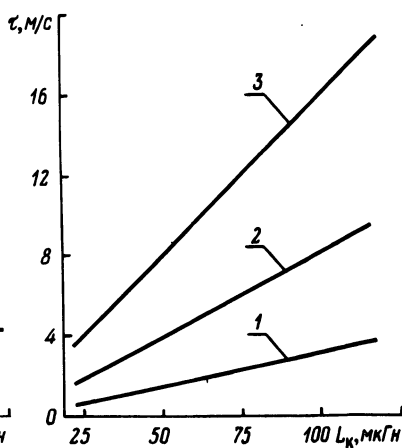


Рис. 3. Зависимости $\tau = f(L_K)$ для $f = 10$ кГц.

Имея семейства зависимостей $U_{\max} = \varphi(L_K)$ и $\tau = f(L_K)$, можно, задавая приемлемым значением U_{\max} для конкретного преобразователя, определить величину емкости конденсатора С1 и величину сопротивления резистора R_p . Мощность последнего определяется из выражения (2).

Л и т е р а т у р а

1. Л а б у н ц о в В.А., Т у г о в Н.М. Динамические режимы эксплуатации мощных тиристорov. — М., 1977. 2. Последовательный тиристорный инвертор. А.с.547019 (СССР) / С.М.Кашельсон, Ю.М.Зинин, А.В.Иванов и др. — Бюл.изобрет., 1977, № 6. 3. М а г е т т о Г. Тиристор в электротехнике. — М., 1977.