

## ТИРИСТОРНЫЙ ПРЕРЫВАТЕЛЬ С НЕЛИНЕЙНОЙ ИНДУКТИВНОСТЬЮ В КОНТУРЕ УСКОРЕННОГО ПЕРЕЗАРЯДА

В. Н. МИШИН, В. П. ЛАЙЕР

(Представлена научно-техническим семинаром НИИ АЭМ)

Применение контура ускоренного перезаряда в устройствах преобразовательной техники, использующих тиристорный ключ с узлом принудительной емкостной коммутации для регулирования напряжения на выходе преобразователя, позволяет снизить зависимость времени перезаряда коммутирующего конденсатора от тока нагрузки [1, 2, 3].

В настоящей статье анализируется работа преобразователя [4] постоянного напряжения при шунтировании тиристорного ключа цепочкой, состоящей из встречно-включенного диода и нелинейной индуктивности (рис. 1). Нелинейная индуктивность  $L_2$  выполнена на сердечнике с прямоугольной петлей гистерезиса.

При анализе процессов в преобразователе потери в стали сердечника не учитываются, коэффициент прямоугольности петли гистерезиса принят равным 1, а вентили обладают идеальными характеристиками, и напряжение на зажимах источника и ток нагрузки на интервале коммутационных процессов постоянны.

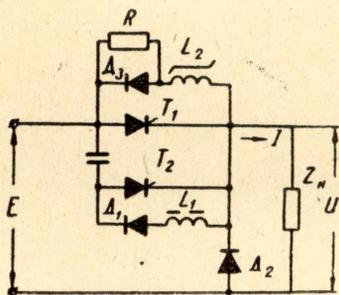


Рис. 1

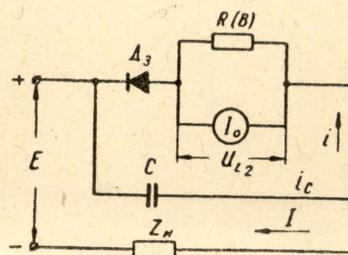


Рис. 2

Учитывая, что дополнительные элементы схемы рис. 2  $R$ ,  $D_3$ ,  $L_2$  влияют на работу преобразователя лишь с момента запирающего силового тиристора  $T_1$ , рассмотрение процессов в преобразователе начнем с этого же момента. Схема замещения преобразователя представлена на рис. 2.

Уравнение динамики сердечника может быть записано в виде [5]

$$i = I_0 + \frac{u_{L_2}}{R(B)},$$

где  $I_0 = \frac{H_0 l}{N_2}$  — составляющая тока дросселя, определяемая пороговой напряженностью  $H_0$  материала сердечника;

$l$  — длина средней магнитной силовой линии сердечника с поперечным сечением  $S$ ;

$N_2$  — число витков дросселя  $L_2$ ;

$R(B)$  — нелинейное сопротивление индуктивности  $L_2$ ;

$$U_{L_2} = -e_L = N_2 S \frac{dB}{dt} \text{ — напряжение на дросселе.}$$

При отсутствии насыщения сердечника  $R(B) \approx \infty$ , поэтому при индукциях  $|B| < B_s$  нелинейная индуктивность представляет собой ограничитель тока (ОТ). При индукциях  $|B| = B_s$ ,  $R(B) = 0$  создается контур  $C-L_2-D_3-C$  для ускоренного перезаряда коммутирующей емкости.

С учетом принятых допущений при  $|B| < B_s$  конденсатор после запираания силового тиристора Т1 перезаряжается током нагрузки  $I$  в соответствии с выражением

$$U_c(t) = -U_\kappa + \frac{It}{C}, \quad (2)$$

где  $U_\kappa$  — напряжение на конденсаторе в момент запираания тиристора. Учитывая, что для контура без потерь

$$U_{L_2} = N_2 S \frac{dB}{dt} = U_c(t), \quad (3)$$

определим из (3) индукцию при  $B(0) = B_0$

$$B = B_0 - \frac{U_\kappa t}{N_2 S} + \frac{It^2}{2N_2 S C}; \quad (4)$$

время перемангничивания сердечника в соответствии с (4)

$$t = \frac{CU_\kappa}{I} \left[ 1 - \left( 1 - \frac{2\Delta B N_2 S I}{CU_\kappa^2} \right)^{\frac{1}{2}} \right], \quad (5)$$

где  $\Delta B = B - B_0$  — изменение индукции сердечника.

При соответствующем подборе параметров дросселя насыщения и тиристора  $R$  начального смещения индукции  $B_0$  можно обеспечить насыщение сердечника  $B = -B_s$  до того, как напряжение на конденсаторе изменит свой знак. Тогда время задержки форсированного (ускоренного) перезаряда конденсатора

$$t_3 = \frac{CU_\kappa}{I} \left[ 1 - \left( 1 - \frac{2(B_0 + B_s) N_2 S I}{CU_\kappa^2} \right)^{\frac{1}{2}} \right]. \quad (6)$$

Из (6) очевидно, что максимальная задержка может быть достигнута при начальной индукции  $B_0 = -B_s$ .

Условия обеспечения насыщения сердечника могут быть получены из (6), т. е.

$$|B|=B_s \text{ при } \begin{cases} U_k \geq U_s = \left[ \frac{2(B_0+B_s)N_2SI}{C} \right]^{\frac{1}{2}} \\ I \leq I_s = \frac{CU_k^2}{2(B_0+B_s)N_2S} \end{cases}$$

После достижения сердечником насыщения образуется контур ускоренного перезаряда коммутирующей емкости, процессы в котором описываются уравнением

$$L_{2s} C \frac{d^2 U_c}{dt^2} + U_c = 0. \quad (9)$$

Решение (9) относительно напряжения на емкости при начальных условиях

$$U_{c(0)} = U_3 = U_k - \frac{I t_3}{C} \text{ и } i_{c(0)} = I \text{ имеет вид}$$

$$U_c = -U_3 \cos \omega t + \frac{I}{C\omega} \sin \omega t, \quad (10)$$

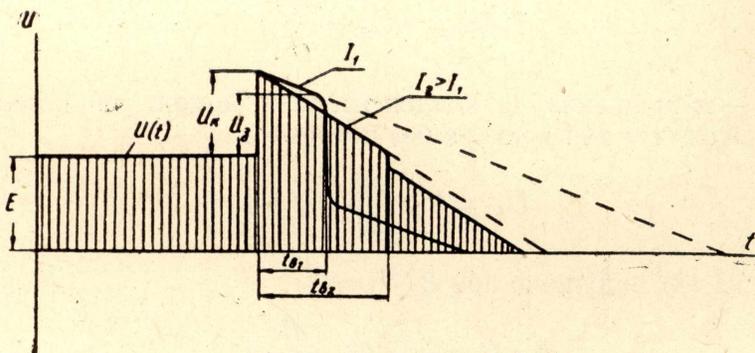


Рис. 3

где  $L_{2s}$  — индуктивность рассеяния насыщенного дросселя  $L_2$ ;

$\omega = \frac{1}{\sqrt{L_{2s}C}}$  — угловая частота контура ускоренного перезаряда.

Время, предоставляемое для запираания тиристора, определится как сумма времени задержки и времени ускоренного разряда конденсатора до нуля, т. е. с учетом (10)

$$t_0 = t_3 + \sqrt{L_{2s}C} \cdot \text{arctg} \frac{U_k - \frac{I t_3}{C}}{I_p}, \quad (11)$$

где  $\rho = \sqrt{\frac{L_{2s}}{C}}$  — волновое сопротивление контура ускоренного перезаряда.

Ускоренный перезаряд конденсатора закончится при токе в индуктивности  $L_2$ , равном нулю, т. е. при  $i = i_c - I = 0$ . Полное время колебательного перезаряда  $t_k \approx \pi \sqrt{L_{2s}C}$ . Время дозаряда коммутирующей емкости до напряжения источника  $E$ .

$$t = \frac{C(E - U_3)}{I}$$

Временные диаграммы изменения напряжения на выходе преобразователя при различных значениях тока нагрузки представлены на рис. 3.

Вольт-секундная площадь, ограниченная кривой изменения напряжения на выходе преобразователя, с увеличением тока нагрузки растет, т. е. преобразователь с контуром ускоренного перезаряда на нелинейной индуктивности обладает свойством регулировать среднее напряжение при изменении тока нагрузки. Следовательно, применение контура ускоренного перезаряда с диодом и нелинейной индуктивностью позволяет получить преобразователь с высокой коммутационной способностью, а свойство контура регулировать среднее напряжение на выходе преобразователя при колебаниях тока нагрузки позволяет использовать его как положительную обратную связь по току нагрузки.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. R. Wagner. Anordnung zur Impulssteuerung der Spannung eines Gleichstromverbrauchers. Патент ФРГ, № 1242289, 1967.
2. Г. Н. Буслаев, Г. К. Шварц. Оценка конденсаторных устройств запирающих тиристоров. «Электричество», 1968, № 6.
3. В. А. Лабунцов, Г. А. Белов. Сравнительный анализ тиристорных импульсных преобразователей постоянного напряжения. Сборник докладов МЭИ за 1968—1969 гг., стр. 38—51.
4. Преобразователь постоянного напряжения. Патент 43—562, 56АО, Япония, опубл. 10/1 1968 г.
5. М. А. Розенблат. Магнитные элементы автоматики и вычислительной техники. М., «Наука», 1966.