

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.

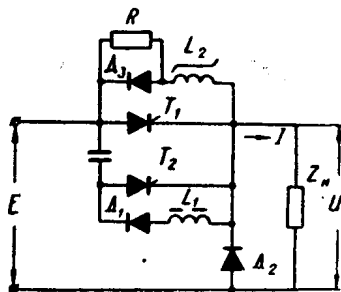


Рис. 1

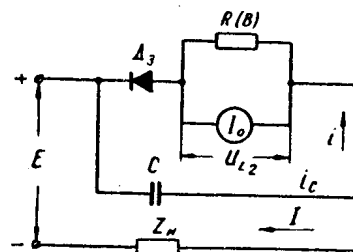


Рис. 2

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]

$$i = I_0 + \frac{u_{L_2}}{R(B)}, \quad (1)$$

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 ;

$U_{L_2} = -e_L = N_2 S \frac{dB}{dt}$ — 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

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

где U_k — 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 $B(0) = B_0$

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

время перемагничивания сердечника в соответствии с (4)

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

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

При соответствующем подборе параметров дросселя насыщения и резистора 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

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

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

$$U_{c(0)} = U_s = U_k - \frac{It_3}{C} \text{ и } i_{c(0)} = I \text{ имеет вид}$$

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

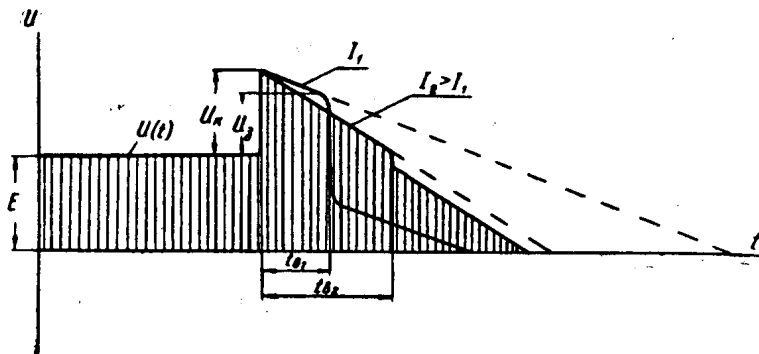


Рис. 3

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)

$$t_0 = t_3 + \sqrt{L_{2s}C} \cdot \text{arctg} \frac{U_k - \frac{It_3}{C}}{I_p}, \quad (11)$$

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. Буслев, Г. К. Шварц. Оценка конденсаторных устройств запирания 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.