

**ПРИНУДИТЕЛЬНАЯ КОММУТАЦИЯ В ИМПУЛЬСНОМ
РЕГУЛЯТОРЕ
СКОЛЬЖЕНИЯ АСИНХРОННОГО ДВИГАТЕЛЯ
ПРИ ВСТРЕЧНО-ПАРАЛЛЕЛЬНО ВКЛЮЧЕННЫХ ТИРИСТОРАХ**

Ю. П. КОСТЮКОВ, О. Г. МАКАРЧЕНКО

(Представлена научно-техническим семинаром НИИ АЭМ)

Уменьшение количества устройств принудительной коммутации при встречно-параллельно включенных вентилях возможно за счет выключения одним узлом принудительной коммутации всех силовых тиристор. Однако в литературе не рассматривались подобные схемы, что объясняется сложностью создания схем принудительной коммутации при встречно-параллельно включенных вентилях. Поэтому разработка новых и совершенствование известных схем принудительной коммутации является актуальной и важной задачей.

На рис. 1 приведена разработанная схема импульсного регулирования с общим узлом принудительной коммутации последовательного типа. Особенность схемы состоит в том, что коммутирующая индуктивность L_1 подключена между одноименными электродами управляемых вентилях Т1, Т2 и Т3, Т4, а для создания пути протекания обратного тока через силовые тиристоры в момент их выключения и симметрии схемы общая точка добавочных сопротивлений R_1 и R_2 соединена со средней точкой сопротивления R_3 , подключенного параллельно коммутирующей индуктивности L_1 , причем $R_3 = 4R_1 = 4R_2$.

Нетрудно показать, что в течение периода частоты скольжения имеется шесть отрезков времени, на каждом из которых в импульсе (силовые тиристоры включены) структура силовой цепи остается неизменной.

Проанализируем квазиустановившиеся процессы, происходящие в рассматриваемой схеме на протяжении одного периода коммутации, для чего весь процесс разобьем на этапы. Первый этап начинается с момента включения вспомогательного тиристора Т5 и характеризуется протеканием импульса обратного тока через находящиеся во включенном состоянии силовые тиристоры. Это время ввиду ничтожной индуктивности цепи коммутирующая емкость — тиристоры пренебрежимо мало. Затем начинается второй этап, в течение которого коммутирующий конденсатор резонансно перезаряжается до максимума отрицательного напряжения (интервал $t_1—t_4$, рис. 2), ток ротора переходит в добавочные сопротивления, а силовые тиристоры закрываются. На третьем этапе коммутирующий конденсатор под действием своего напряжения и напряжения источника питания заряжается до напряжения U_0 . При этом вспомогательный тиристор Т5 закрывается, а часть электромагнитной энергии, запасенной в индуктивности L_1 , рассеивается в добавочном сопротивлении R_3 .

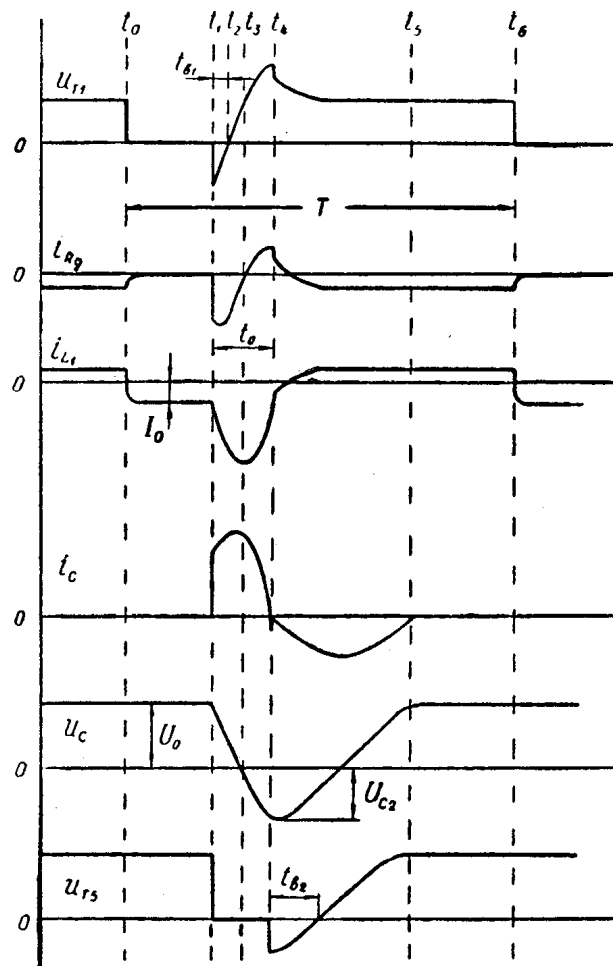


Рис. 1

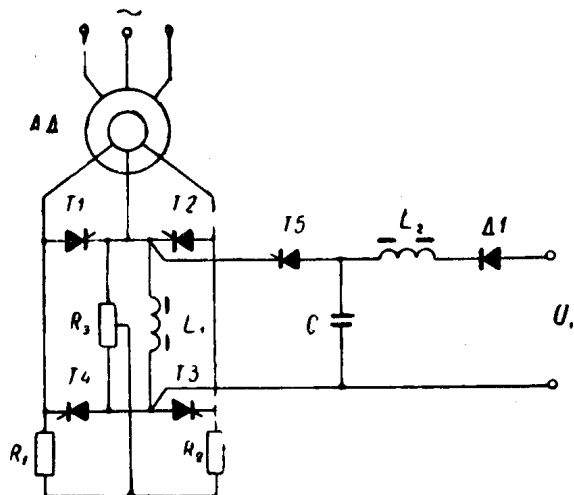


Рис. 2

Рассмотрение квазиустановившегося режима в устройстве принудительной коммутации начнем со второго этапа при следующих допущениях:

1. Время включения тиристоров и действия обратного тока пренебрежимо мало.

2. Падение напряжения на тиристорах и диодах равно нулю.
 3. Параметры контуров L_1 , L_2 , C , R — постоянны.
- В этом случае характеристическое уравнение имеет вид

$$F(p) = R_3 L_1 C p^2 + L_1 p + R_3 = 0. \quad (1)$$

Решая уравнение (1) при начальных условиях

$$u_c(t_1) = U_0, \quad i_{L_1}(t_1) = I_0, \quad (2)$$

получим выражения для напряжения на емкости и тока

$$u_c = -u_{R_3} = u_{L_1} = -e^{-bt} \left[U_0 \frac{\omega}{\omega_0} \sin(\omega_0 t - \psi_0) + \frac{I_0}{\omega_0 C} \sin \omega_0 t \right]; \quad (3)$$

$$i_c = -e^{-bt} \left[\frac{U_0}{R_3} \left(\cos \omega_0 t + \frac{\omega_0^2 - b^2}{2b\omega_0} \sin \omega_0 t \right) - I_0 \frac{\omega}{\omega_0} \sin(\omega_0 t - \psi_0) \right], \quad (4)$$

где $\psi_0 = \arctg \frac{\omega_0}{b}$ — угол сдвига фаз между током i и напряжением u_c ;

$b = \frac{1}{2R_3C}$ — декремент затухания контура;

ω_0 — собственная угловая частота коммутирующего контура с учетом затухания;

ω — то же без учета затухания.

Для обеспечения резонансного перезаряда коммутирующего конденсатора необходимо выполнить условие

$$R_3 > \frac{1}{2} \sqrt{\frac{L_1}{C}}. \quad (5)$$

Время $t_{в1}$, предоставляемое схемой принудительной коммутации силовым тиристором для восстановления запирающих свойств, определяется из выражения (3) и соотношения

$$2IR_1 - u_c = 0, \quad (6)$$

тогда после несложных преобразований находим

$$e^{bt_{в1}} = -\frac{2b}{\omega_0} (2 + \kappa) \sin \omega_0 t_{в1} + 2\kappa \cos \omega_0 t_{в1}, \quad (7)$$

где $\kappa = \frac{U_0}{IR_3}$ — кратность напряжения в контуре $C - R_3$.

Полученное соотношение (7) трансцендентно относительно параметров схемы и решается только численными или графическими методами. Вводя линейную аппроксимацию напряжения на коммутирующем конденсаторе в интервале $t_1 - t_3$, получим более простое выражение для времени $t_{в1}$.

$$t_{в1} = \left(1 - \frac{1}{2\kappa} \right) \frac{1}{\omega_0} \arctg \frac{\omega_0}{b \left(1 + \frac{2}{\kappa} \right)}. \quad (8)$$

Продолжительность второго этапа можно определить из уравнения (4), при $i_c = 0$

$$\omega_0 t_0 = \pi - \operatorname{arctg} \frac{2(k+1)}{-\frac{b}{\omega_0}(k+2) + \frac{\omega_0}{b}k}. \quad (9)$$

Максимум прямого напряжения на вспомогательном тиристоре Т5 равен U_0 , а максимум обратного напряжения получается из уравнения (3), когда $t=t_0$.

$$U_{\text{обр. Т5}} = -e^{-bt_0} \left[U_0 \frac{\omega}{\omega_0} \sin(\omega_0 t_0 - \psi_0) + \frac{I_0}{\omega_0 C} \sin \omega_0 t_0 \right]. \quad (10)$$

Время восстановления запирающих свойств вспомогательного тиристора

$$t_{B2} = \frac{1}{\omega_{02}} \arccos \frac{U_1}{U_1 + U_{C2}}. \quad (11)$$

Величина зарядной индуктивности L_2 выбирается по условию

$$L_2 \geq \frac{(t_{B2})^2}{C \left(\arccos \frac{U_1}{U_1 + U_{C2}} \right)^2}. \quad (12)$$

Среднее значение тока через вспомогательный тиристор Т5 и диод Д1 определяется следующим образом:

$$I_{\text{ср. Т5}} = \frac{C}{T} \left\{ U_0 \left[1 - e^{-bt_0} \left(\cos \omega_0 t_0 - \frac{b}{\omega_0} \sin \omega_0 t_0 \right) \right] + \frac{I_0}{\omega_0 C} \sin \omega_0 t_0 \cdot e^{-bt_0} \right\}, \quad (13)$$

$$I_{\text{ср. Д1}} = \frac{C}{T} (U_1 + U_{C2}) \cdot (1 + e^{-\pi \frac{b_2}{\omega_{02}}}). \quad (14)$$

Полученные зависимости позволяют произвести выбор элементов схемы принудительной коммутации. Для нормальной работы схемы необходимо, чтобы начальное напряжение на конденсаторе было

$$U_0 \geq I_m \cdot 3R_1, \quad (15)$$

где I_m — максимальный выключаемый ток в силовом тиристоре.

Зная величину тока включения, по выражению (15) определяем начальное напряжение на коммутирующем конденсаторе. Величина емкости коммутирующего конденсатора предварительно выбирается из условия отключения максимального тока в силовом тиристоре

$$C \geq \frac{k_3 t_{B.п} I_m}{(U_0 - I_m 2R_1)}, \quad (16)$$

где

k_3 — коэффициент запаса по времени восстановления

$t_{B.п}$ — паспортное время восстановления управляемости тиристора.

По заданному времени восстановления $t_{B.п}$, используя выражение (8) или (7), находим требуемое значение ω_0 , по которому определяем величину коммутирующей индуктивности

$$L_1 = \frac{1}{C(\omega_0^2 + b^2)}. \quad (17)$$

Выбранные значения емкости C и индуктивности L_1 затем проверяются по условию (5).

Достоинство предлагаемой схемы импульсного регулирования заключается в наличии одного общего узла принудительной коммутации и малой установленной мощности силовых тиристоров. Эту схему рекомендуется применять для электроприводов с частыми пусками и большими пределами изменения нагрузки на валу двигателя.
