ИЗВЕСТИЯ
ТОМСКОГО ОРДЕНА ОКТЯБРЬСКОЙ РЕВОЛЮЦИИ
И ОРДЕНА ТРУДОВОГО КРАСНОГО ЗНАМЕНИ
ПОЛИТЕХНИЧЕСКОГО ИНСТИТУТА имени С. М. КИРОВА

Том 262 1973

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 тиристоров. 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 вентилей 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.

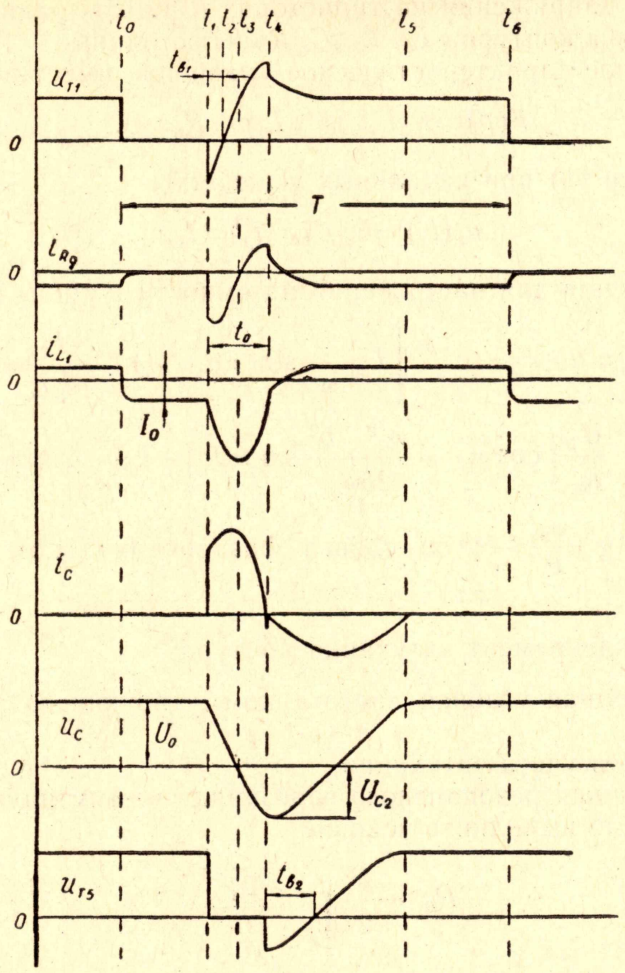

Рис. 1

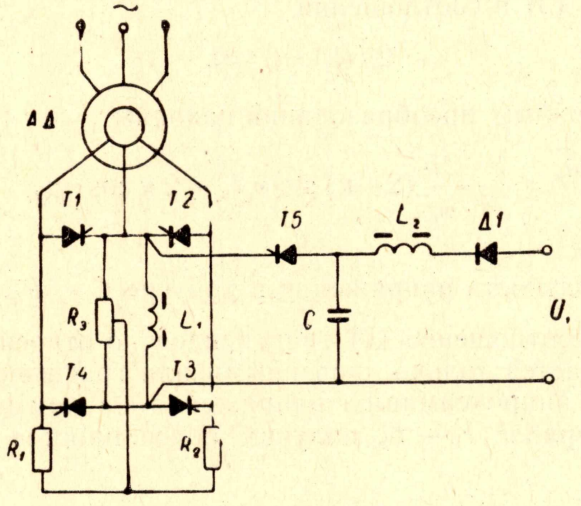

Рис. 2

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

$$F(p)=R_3L_1Cp^2+L_1p+R_3=0. \tag{1}$$

Решая уравнение (1) при начальных условиях

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

получим выражения для напряжения на емкости и тока

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

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

где $\psi_0=\operatorname{arctg}\frac{\omega_0}{b}$ — 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

$$R_3>\frac{1}{2}\sqrt{\frac{L_1}{C}}. \tag{5}$$

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

$$2IR_1-u_c=0, \tag{6}$$

тогда после несложных преобразований находим

$$e^{bt_{в_1}}=-\frac{2b}{\omega_0}(2+к)\sin\omega_0 t_{в_1}+2к\cos\omega_0 t_{в_1}, \tag{7}$$

где $к=\frac{U_0}{IR_3}$ — 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 $t_{в_1}$.

$$t_{в_1}=\left(1-\frac{1}{2к}\right)\frac{1}{\omega_0}\operatorname{arctg}\frac{\omega_0}{b\left(1+\frac{2}{к}\right)}. \tag{8}$$

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

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

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

$$U_{\text{обр } T5} = -e^{-bt_0}\left[U_0 \frac{\omega}{\omega_0} \sin(\omega_0 t_0 - \psi_0) + \frac{I_0}{\omega_0 C} \sin \omega_0 t_0 \right]. \quad (10)$$

Время восстановления запирающих свойств вспомогательного тиристора

$$t_{в_2} = \frac{1}{\omega_{02}} \arccos \frac{U_1}{U_1 + U_{C2}}. \quad (11)$$

Величина зарядной индуктивности L_2 выбирается по условию

$$L_2 \geqslant \frac{(t_{b_2})^2}{C\left(\arccos \frac{U_1}{U_1+U_{C2}}\right)^2}. \quad (12)$$

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

$$I_{\text{ср. } T5} = \frac{C}{T}\left\{ U_0 \left[1 - e^{-bt_0}\left(\cos \omega_0 t_0 - \frac{b}{\omega_0} \sin \omega_0 t_0 \right) \right] + \frac{I_0}{\omega_0 C} \sin \omega_0 t_0 \cdot e^{-bt_0} \right\}, \quad (13)$$

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

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

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

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

$$C \geqslant \frac{к_з t_{в.п} I_m}{(U_0 - I_m 2R_1)}, \quad (16)$$

где

$к_з$ — коэффициент запаса по времени восстановления

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

По заданному времени восстановления $t_{в.п}$, 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.