

**ВЛИЯНИЕ ВРЕМЕНИ КОММУТАЦИИ В ИМПУЛЬСНЫХ  
ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЯХ ПОСТОЯННОГО ТОКА  
НА ХАРАКТЕРИСТИКИ ЭЛЕКТРОПРИВОДОВ  
С ДВИГАТЕЛЯМИ ПОСЛЕДОВАТЕЛЬНОГО ВОЗБУЖДЕНИЯ**

А. И. САПОЖНИКОВ, В. А. БЕЙНАРОВИЧ

(Представлена научно-техническим семинаром НИИ АЭМ)

Импульсные методы регулирования скорости вращения электродвигателей с использованием тиристорных преобразователей находят широкое применение в электроприводе. В настоящее время известно большое число схем тиристорных преобразователей напряжения постоянного тока, применяемых для регулирования скорости вращения электродвигателей с питанием от нерегулируемых источников постоянного тока. Особенно велико значение таких систем в тяговых электроприводах и установках с аккумуляторным питанием.

Так как тиристоры обладают характеристикой тиратронного типа, то в преобразователях напряжения постоянного тока применяются устройства искусственной коммутации. По типу устройства искусственной коммутации преобразователи постоянного тока можно разделить на две группы. К первой группе относятся импульсные преобразователи с мгновенным прекращением поступления энергии в нагрузку, в результате чего среднее напряжение на нагрузке однозначно определяется относительной продолжительностью включения  $\gamma_U$ . Ко второй группе относятся импульсные преобразователи с конечным временем коммутации, в течение которого в нагрузку продолжает поступать энергия от источника питания. Вследствие этого минимальная величина среднего напряжения на нагрузке не может быть меньше некоторого значения, определяемого параметрами устройства искусственной коммутации и величиной тока нагрузки.

При расчете искусственных электромеханических и механических характеристик методами, описанными в [2], среднее напряжение на двигателе считается равным  $\gamma_U U$ , что приводит к расхождению экспериментальных и расчетных характеристик в случае применения преобразователей второй группы. В работе [1] приведена методика расчета искусственных электромеханических характеристик с учетом конечного времени коммутации в преобразователях с одной ветвью коммутации (рис. 1 а) и показано, что  $\gamma_U U$  не определяет однозначно величину среднего напряжения на нагрузке. Это объясняется тем, что действительная продолжительность включения  $\gamma$  существенно изменяется в зависимости от величины тока нагрузки  $I$  (рис. 1 б), поскольку время перезаряда коммутирующего конденсатора  $C_K$  постоянным по величине током при напряжении питания  $U$  равно [1]

$$t = \frac{2UC_K}{I} \quad (1)$$

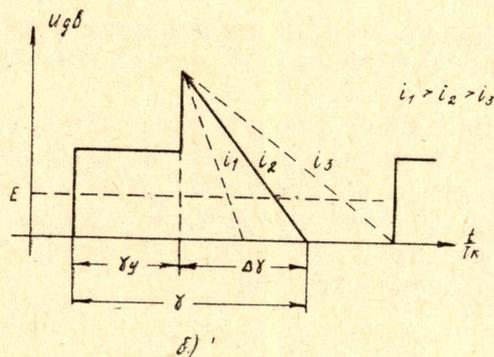
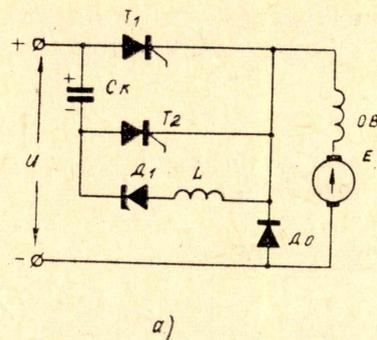


Рис. 1.

Вследствие этого внешняя характеристика преобразователя и соответственно электромеханические и механические характеристики при импульсном питании от преобразователей второй группы оказываются более мягкими.

В настоящей работе исследуется влияние импульсного преобразователя второй группы на изменение скорости вращения двигателей по сравнению с питанием тех же двигателей от импульсного преобразователя первой группы, то есть дается количественная оценка влияния реального времени коммутации на электромеханические характеристики электропривода с широтно-импульсным силовым преобразователем.

Параметры устройства принудительной коммутации выбирают так, чтобы сохранялась возможность запираания (выключения) силового тиристора преобразователя при протекании через него максимально допустимого тока нагрузки. В случае питания двигателя, выбранная схема преобразователя должна коммутировать пусковой ток двигателя или, при наличии токоограничения, ток упора. При этом устройством коммутации силовому тиристорному предоставляется время для восстановления запирающих свойств [3]

$$t_{в макс} = K_3 t_{в пасп} = C_k \frac{U}{\lambda I_H}, \quad (2)$$

где

- $K_3 = (1,2 \div 1,5)$  — коэффициент запаса по времени восстановления;
- $t_{в пасп}$  — паспортное время восстановления запирающих свойств силового тиристора;
- $I_H$  — номинальный ток двигателя;
- $\lambda$  — коэффициент кратности максимального тока по отношению к номинальному.

Разделив выражение (1) на (2) и разделив обе части полученного равенства на длительность периода коммутации  $T_k$ , получим выражение для относительной продолжительности дополнительного протекания

тока через двигатель за счет устройства принудительной коммутации в преобразователях второй группы, зависящей от величины тока нагрузки

$$\Delta\gamma(i) = 2 K_3 \cdot t_{в.пасп} \cdot f_k \frac{\lambda}{i}, \quad (3)$$

где  $f_k = \frac{1}{T_k}$  — частота коммутации;

$i = \frac{I}{I_H}$  — относительная величина тока нагрузки.

Аналогичным образом можно исследовать и другие варианты схем преобразователей второй группы и показать, что во всех случаях имеется  $\Delta\gamma(i) > 0$ .

Учитывая вышесказанное, среднее значение напряжения на нагрузке преобразователей второй группы при условии, что начальное напряжение на коммутирующем конденсаторе равно напряжению источника питания, а ток нагрузки имеет непрерывный характер, вследствие чего через конденсатор протекает неизменный по величине ток, равный току нагрузки, определяется выражением:

$$U_{ср} = [\gamma_y + \Delta\gamma(i)] \cdot U. \quad (4)$$

Определим величину ошибки, вносимую неучетом дополнительной продолжительности включения  $\Delta\gamma(i)$  при расчете электромеханических характеристик. Следуя методике [2] и считая напряжение источника равным номинальному, величина скорости двигателя в относительных единицах определяется

$$\gamma_{и} = \frac{\alpha\gamma - i\rho_э}{\alpha - i} \gamma_1, \quad (5)$$

где

$\gamma_{и} = \frac{\omega_{и}}{\omega_H}$ ;  $\gamma_e = \frac{\omega_e}{\omega_H}$  — относительные значения скорости вращения двигателя соответственно на искусственной и естественной характеристиках;

$i = \frac{I}{I_H}$  — относительное значение тока якорной цепи;

$\alpha = \frac{U_H}{I_H R_{дв}}$  — отношение номинального напряжения питания к номинальному падению напряжения в цепи двигателя;

$\rho_э = \frac{R_э}{R_{дв}}$  — относительное значение сопротивления силовой цепи ШИП-ДПВ, включая внутреннее сопротивление источника питания;

здесь  $R_{дв}$  — сопротивление цепи якоря двигателя;

$U_H, I_H, \omega_H$  — номинальные параметры двигателя.

В выражении (5) считаем  $\gamma$  состоящей из двух составляющих

$$\gamma = \gamma_y + \Delta\gamma(i).$$

Тогда выражение (5) с учетом (6) запишется

$$\gamma_{и} = \gamma_0 + \Delta\gamma = \frac{\alpha\gamma_y - i\rho_э}{\alpha - i} \gamma_e + \frac{\alpha\Delta\gamma(i)}{\alpha - i} \gamma_e. \quad (7)$$

Отклонение скорости будет определять второе слагаемое с  $\Delta\gamma(i)$ . Считая, как это принято в работе [2], за эталон характеристику, получаемую при идеальном ключе и идеальном источнике питания, определяемую выражением

$$v_э = \frac{\alpha\gamma_y - i}{\alpha - i} v_e, \quad (8)$$

относительное отклонение скорости определяется делением второго слагаемого выражения (7) на величину эталонной скорости по (8) для одного и того же значения тока и одинакового значения  $v_e$

$$\frac{\Delta v}{v_э} = \frac{\alpha\Delta\gamma(i)}{\alpha\gamma_y - i}. \quad (9)$$

Для обобщения результатов анализа на импульсные преобразователи второй группы с любым типом тиристоров, выражение (9) с учетом (3) запишется

$$\frac{\Delta v}{Av_э} = \frac{2\alpha}{(\alpha\gamma_y - i) \cdot i}, \quad (10)$$

где  $A = K_3 t_{в\text{ пасп}} f_k \cdot \lambda$  — постоянная величина для выбранной схемы преобразователя.

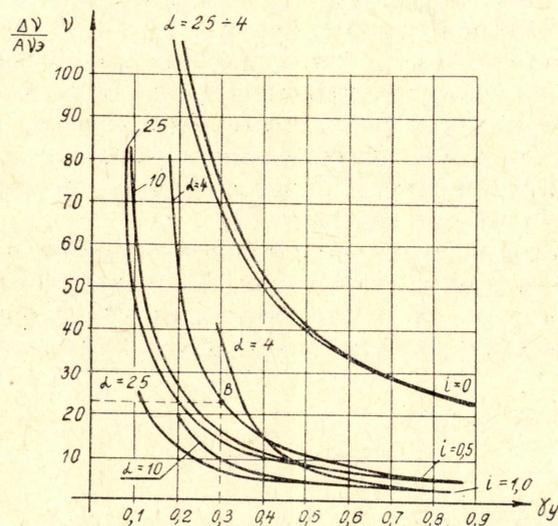


Рис. 2.

На рис. 2 приведены зависимости, построенные по выражению (10) и характеризующие отклонение скорости двигателя от расчетного при идеализации преобразователя по выражению (8) и позволяющие по известным величинам  $A$ ,  $\alpha$ ,  $i$ ,  $\gamma_y$  определить  $\frac{\Delta v}{v_э}$ . На рис. 3 показаны

зависимости отклонения скорости двигателя от расчетного значения при токе нагрузки  $i=0,5$  и питании от широтно-импульсного преобразователя второй группы (типа рис. 1, а) с указанными параметрами, определяющими величину постоянного коэффициента  $A=0,042$ . Кривые рис. 3 получены из кривых рис. 2 путем умножения координаты  $\frac{\Delta v}{Av_э}$  для заданных значений  $\gamma_y$ ,  $\alpha$  и  $i$  на постоянный коэффициент  $A$ . Напри-

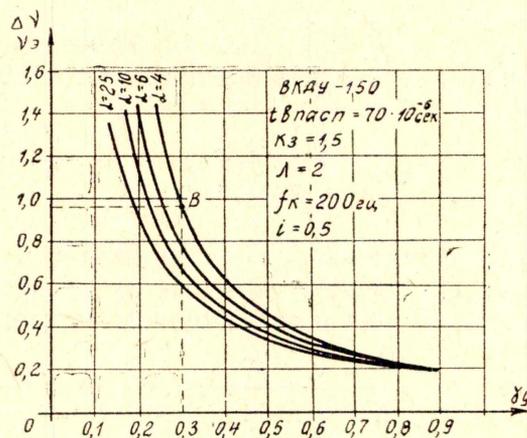


Рис. 3.

мер, ордината точки В на рис. 3 равна  $\frac{\Delta v}{v} \cdot A = 23 \cdot 0,042 = 0,965$  при  $\alpha = 4$ ;  $i = 0,5$  и  $\gamma_y = 0,3$ .

Из кривых рис. 2 и 3 видно, что неучет  $\Delta v(i)$  приводит к значительной ошибке в определении скорости двигателя, особенно в области малых значений тока нагрузки двигателя и малых  $\gamma_y$ . Так при токе нагрузки  $i = 0,5$  и  $\gamma_y = 0,3$  (рис. 3) в зависимости от  $\alpha$  ошибка в определении скорости по идеализированным условиям (8) составляет от 0,6 до 0,95, то есть действительная скорость двигателя, питающегося от тиристорного преобразователя второй группы, будет в  $1,6 \div 1,95$  выше рассчитанной по методике [2] без учета конечного времени коммутации.

Аналогичные зависимости отклонения скорости можно получить и в случае питания двигателя от частотно-импульсного преобразователя [4], в котором также можно выделить постоянную составляющую длительности импульса напряжения и переменную, зависящую от тока нагрузки и определяемую выражением (3).

Таким образом, для избежания больших ошибок при расчете электромеханических и механических характеристик двигателей последовательного возбуждения по (2), питающихся от тиристорных импульсных преобразователей второй группы, необходимо учитывать конечное время коммутации.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Б. П. Петров. Внешние и электромеханические характеристики тягового двигателя постоянного тока при импульсном управлении. «Электричество», 1971, № 1.
2. А. И. Сапожников, В. А. Бейнарович, А. И. Алифиров. Электромеханические и механические характеристики двигателя последовательного возбуждения при питании от ШИП. Статья в настоящем сборнике.
3. М. И. Крайцберг и Э. В. Шикуть. Импульсные методы регулирования цепей постоянного тока с помощью тиристоров. М., «Энергия», 1969.
4. В. Е. Розенфельд, В. В. Шевченко, В. А. Майбога, Г. П. Долаберидзе. Тиристорное управление электрическим подвижным составом постоянного тока. М., «Транспорт», 1970.