

МЕТОДИКА РАСЧЕТА СТАТИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК ЭЛЕКТРОПРИВОДОВ С ТИРИСТОРНЫМИ РШИП СО СМЕННЫМ ЗАКОНОМ КОММУТАЦИИ

В. А. БЕЙНАРОВИЧ, Л. С. УДУТ, В. С. ФАДЕЕВ, А. Е. ДЕЕВ

(Представлена научно-техническим семинаром НИИ АЭМ)

Основные выражения для расчета и построения статических электромеханических $\Omega(I_{я})$ или механических $\Omega(M)$ характеристик электроприводов постоянного тока с тиристорными реверсивными широтно-импульсными преобразователями со сменным законом коммутации [1] определяются на основании анализа квазиустановившихся электромагнитных процессов [2] в различных режимах работы (рис. 1). Принимают-

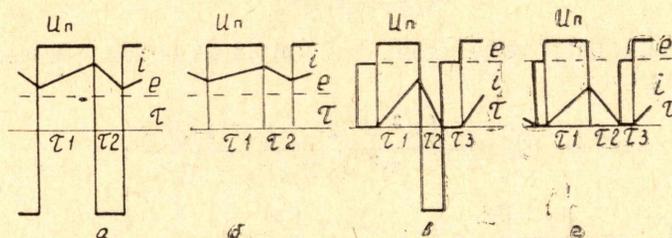


Рис. 1.

ся следующие допущения: вентили идеальные, параметры цепи преобразователь — двигатель постоянные, сопротивление источника питания равно нулю, э. д. с. двигателя за время периода коммутации не изменяется. Результаты анализа удобно представить в относительных единицах (см. приложение).

Электромеханические характеристики электропривода

Симметричный закон коммутации

Исходные выражения, описывающие электромагнитные процессы на интервалах времени τ_1 и τ_2 (рис. 1а, б), имеют вид

$$\pm 1 = \tau_{я} \frac{di_{я}^*}{dt} + i_{я}^* + e^* . \quad (1)$$

В зоне непрерывных токов (рис. 1, а) электромеханические характеристики определяются выражением

$$\Omega = (2\tau_1 - 1) - I_{я}^* , \quad (2)$$

а в зоне прерывистого тока (рис. 1, б) строятся совместным решением следующих уравнений:

$$\Omega^* = E^* = 1 - \frac{2I_{я}^* \cdot \tau_{я}}{\tau_1^2 + 2\tau_1 \cdot \tau_2 - \tau_2^2}; \quad (3)$$

$$I_{я}^* = \frac{1 - E^*}{2\tau_{я}} \tau_1^2 + \frac{1 - E^*}{\tau_{я}} \tau_1 \tau_2 - \frac{1 + E^*}{2\tau_{я}} \tau_2^2; \quad (4)$$

$$\tau_2 = \tau_{я} \ln \left[1 + \frac{1 - E^*}{1 + E^*} \left(1 - e^{-\frac{\tau_1}{\tau_2}} \right) \right]. \quad (5)$$

Граница режимов определяется следующими значениями граничной скорости вращения и тока двигателя:

$$\Omega_{гр1}^* = -\Omega_{гр2}^* = 2\tau_1 \left(1 + \frac{\tau_1 - 1}{2\tau_{я} - 1} \right) - 1; \quad (6)$$

$$I_{ягр1}^* = -I_{ягр2}^* = \frac{4\tau_1 - 2\tau_1^2 - 1}{2\tau_{я}} - \frac{\Omega_{гр1}^*}{2\tau_{я}}. \quad (7)$$

Несимметричный закон коммутации

Исходные выражения для электромагнитных процессов в якорной цепи на интервалах времени τ_1 и τ_2 (рис. 1 б, г) имеют вид

$$\begin{aligned} 1 &= \tau_{я} i_{я}^* + i_{я}^* + e^*; \\ 0 &= \tau_{я} i_{я}^* + i_{я}^* + e^*. \end{aligned} \quad (8)$$

Тогда электромеханические характеристики в зоне непрерывных токов (рис. 1б) описываются выражением

$$\Omega^* = \tau_1 - I_{я}^*, \quad (9)$$

а в зоне прерывистого тока (рис. 1г) определяются совместным решением уравнений

$$\Omega^* = E^* = \frac{(\tau_1^2 + 2\tau_1 \tau_2) - 2I_{я}^* \tau_{я}}{\tau_1^2 + 2\tau_1 \tau_2 - \tau_2^2}; \quad (10)$$

$$I_{я}^* = \frac{1 - E^*}{2\tau_{я}} \tau_1^2 + \frac{1 - E^*}{\tau_{я}} \tau_1 \tau_2 - \frac{E^*}{2\tau_{я}} \tau_2^2; \quad (11)$$

$$\tau_2 = \tau_{я} \ln \left[1 + \frac{1 - E^*}{E^*} \left(1 - e^{-\frac{\tau_1}{\tau_2}} \right) \right]. \quad (12)$$

Граница режимов определяется следующими значениями граничной скорости вращения и тока двигателя:

$$\Omega_{гр1}^* = 1 - \Omega_{гр2}^* = \frac{\tau_1(2\tau_{я} - 2 + \tau_1)}{2\tau_{я} - 1}; \quad (13)$$

$$I_{гр1}^* = -I_{гр2}^* = \frac{\tau_1(1 - \tau_1)}{2\tau_{я} - 1}. \quad (14)$$

По найденным выражениям рассчитаны и приведены на рис. 5 (тонкие линии) электромеханические характеристики разомкнутой системы электропривода РШИП-Д со сменным законом коммутации при численном значении $\tau_{я} = 5,5$.

Регулировочные характеристики РШИП при работе на двигатель постоянного тока

Регулировочные характеристики преобразователя целесообразно представить в виде зависимостей $E_{пр}^*(\tau_1)$ при $I_{я}^* = \text{const}$, а влияние

внутреннего сопротивления преобразователя при расчетах учесть соответствующим увеличением сопротивления якорной цепи двигателя. Вид характеристик зависит от закона коммутации и режима работы преобразователя.

Режим непрерывного тока (рис. 1а, б). При непрерывном токе регулировочные характеристики преобразователя (рис. 3) рабочей части линейны, имеют зону насыщения и определяются при симметричном и несимметричном законе коммутации соответственно следующими выражениями:

$$E^*_{пр} = 2\tau_1 - 1; \quad (15)$$

$$E^*_{пр} = \tau_1. \quad (16)$$

Режим прерывистого тока (рис. 1в, г). В этом случае регулировочные характеристики преобразователя в рабочей части существенно нелинейны и зависят от тока якоря и скорости вращения (э. д. с.) двигателя, которые, однако, связаны между собой однозначно выражениями (4), (5) и (11), (12). Учитывая, что всегда выполняется условие

$$E^*_{пр} = E^* + I^*_{я}$$

на основании (3) и (10), выражение для регулировочной характеристики преобразователя в режиме прерывистого тока для случая симметричного закона коммутации (рис. 1в) определяется выражением

$$E^*_{пр} = 1 - \frac{I^*_{я} (2\tau_1 - \tau_1^2 - 2\tau_1\tau_2 + \tau_2^2)}{\tau_1^2 + 2\tau_1\tau_2 - \tau_2^2} \quad (17a)$$

или в соответствии с рис. 1в

$$E^*_{пр} = (\tau_1 - \tau_2) + E^* \tau_3. \quad (17б)$$

При несимметричном законе коммутации в режиме прерывистого тока (рис. 1г) регулировочная характеристика преобразователя определяется выражением

$$U^*_{пр} = (\tau_1^2 + 2\tau_1\tau_2) - I^*_{я} (2\tau_2 - \tau_1^2 - 2\tau_1\tau_2 + \tau_2^2) \quad (18a)$$

или в соответствии с рис. 1г

$$E^*_{пр} = \tau_1 + E^* \tau_3. \quad (18б)$$

На рис. 2 приведены регулировочные характеристики РШИП при работе на двигатель постоянного тока, рассчитанные по выражениям (17) и (18).

Аналогичным образом по выражениям (3)—(5) и (10)—(12) могут быть рассчитаны и построены внешние характеристики преобразователя $E^*_{пр}(I^*_{я})$ при $\tau_1 = \text{const}$ и регулировочные характеристики системы ШИП-Д $\Omega^*(\tau_1)$ при $I^*_{я} = \text{const}$, которые также будут нелинейны в режиме прерывистого тока.

Регулировочная характеристика РШИП со сменным законом коммутации определяется выражениями (15), (16), (17), (18) и даже в режиме непрерывного тока (рис. 3) оказывается существенно нелинейной — имеет зоны насыщения, нечувствительности и различный наклон линейной части в зависимости от режима работы преобразователя.

Статические характеристики замкнутой системы РШИП-Д

При представлении преобразователя линейным звеном, что возможно только в области непрерывных токов, выбор параметров замкнутой системы стабилизации скорости и расчет ее статических характеристик производится обычными методами и затруднений не вызывает.

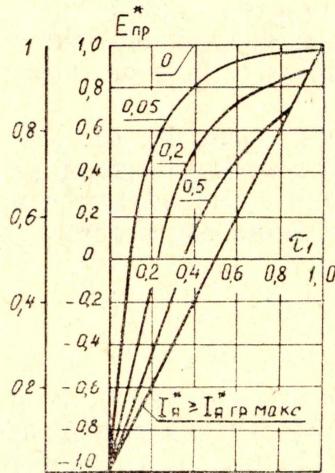


Рис. 2.

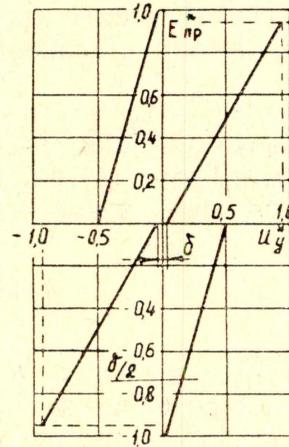


Рис. 3.

Учет всех указанных нелинейностей системы РШИП-Д может быть произведен при графоаналитическом методе расчета статических характеристик замкнутой системы. Для этого по изложенной выше методике необходимо предварительно рассчитать и построить статические характеристики разомкнутой системы Ω^* ($I^*_{я}$) при $\tau_1 = \text{const}$ (рис. 5), характеристики управления ШИМ по двум входам $\tau_1(U^*_{y1})$ и $\tau_2(U^*_{y2})$ (рис. 4 б), характеристику БОС $U^*_{y1}(\Omega^*)$ при $U_{зад} = \text{const}$ (рис. 4а), характери-

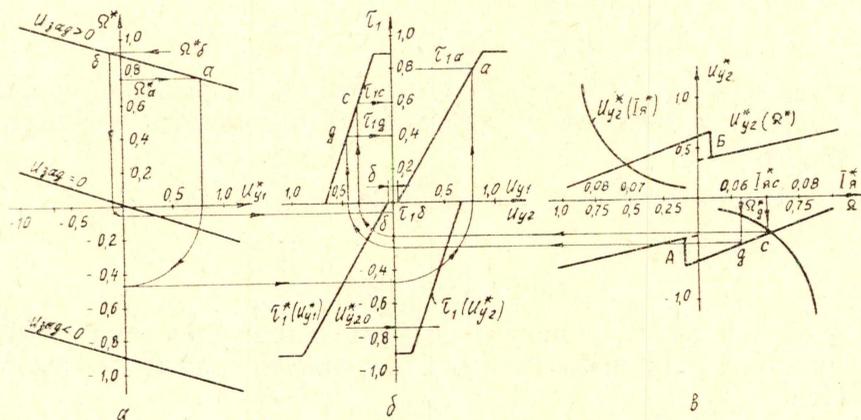


Рис. 4.

ку БТО $U^*_{y2}(I^*_{я})$ — при использовании схемы отсечки или $U^*_{y2}(\Omega)$ — при использовании упреждающего токоограничения (рис. 4в). Порядок построения статических характеристик замкнутой системы при заданном значении $U_{зад}$ ясен из рис. 4 и 5. Характеристики (рис. 5, толстые линии) оказываются нелинейными в области малых нагрузок и в области действия токовой отсечки (толстые сплошные линии) или упреждающего токоограничения (толстые пунктирные линии).

Предложенная методика позволяет по требуемому виду статической характеристики замкнутой системы синтезировать характеристики и параметры ШИМ, БОС, БТО с учетом имеющихся в системе нелинейностей, что особенно важно при проектировании высокоточных систем. Следует отметить, что введение порога U_{y20} срабатывания по каналу U_{y2} управления модуляторами позволяет исключить влияние нелинейности начального участка характеристики нелинейного элемента токо-

вой отсечки, определяемой величиной U_{y20} , соответствующей началу действия отсечки.

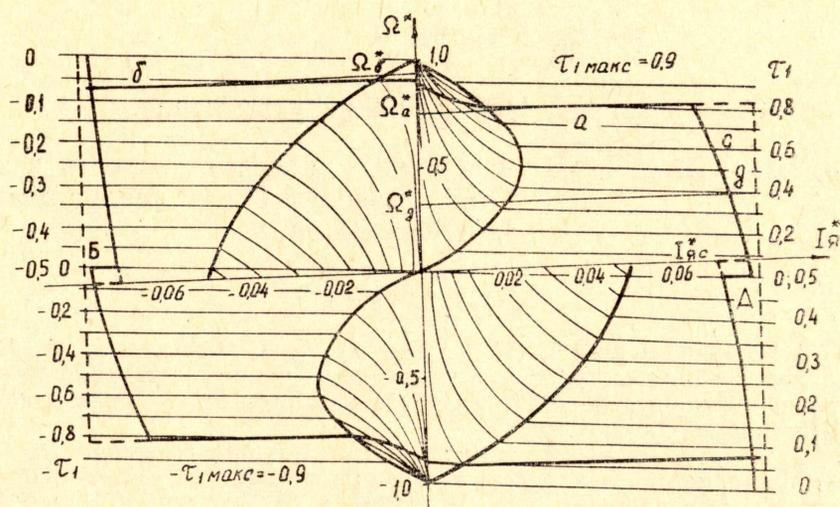


Рис. 5.

Буквами А и Б на рис. 4 и 5 обозначены моменты переключения закона коммутации в соответствии с найденным точным (сплошные линии) и упрощенным (пунктирные линии) условием его смены.

Приложение

U_{Π} , $E_{\text{пр}}$, $R_{\text{пр}}$, E , $I_{\text{я}}$, M , Ω , $R_{\text{я}}$, $L_{\text{я}}$, $U_{\text{зад}}$, $U_{\text{у}}$ — средние значения напряжения источника питания; э. д. с. и внутреннего сопротивления преобразователя; э. д. с., тока, момента, скорости вращения, сопротивления и индуктивности цепи якоря двигателя; задающего напряжения и напряжения управления.

e , $i_{\text{я}}$ — мгновенные значения э. д. с. и тока двигателя;

$U_{\text{б}} = U_{\Pi}$ — базовое значение напряжения;

$R_{\text{б}} = R_{\text{я}} + R_{\text{пр}}$ — базовое сопротивление;

$I_{\text{б}} = \frac{U_{\text{б}}}{R_{\text{б}}}$ — базовое значение тока;

$\Omega_{\text{б}} = \frac{U_{\text{б}}}{C_{\text{е}}}$ — базовое значение скорости;

$T_{\text{б}} = T_{\text{к}}$ — базовое значение времени, равное периоду коммутации преобразователя;

$T_{\text{я}} = \frac{L_{\text{яу}}}{R_{\text{яу}}}$ — постоянная времени цепи обмотки якоря двигателя.

Обозначения величин в относительных единицах:

$U^* = \frac{U}{U_{\text{б}}}$ — напряжение,

$E^* = \frac{E}{U_{\text{б}}}$ — э. д. с.,

$I_{\text{я}}^* = \frac{I_{\text{я}}}{I_{\text{б}}}$ — ток якоря,

$\Omega^* = \frac{\Omega}{\Omega_{\text{б}}}$ — скорость вращения,

$$R^* = \frac{R}{R_0} \text{ — сопротивление,}$$

$$\tau = \frac{t}{T_0} \text{ — время,}$$

$$U_y^* = \frac{U_y}{U_{y \text{ макс}}} \text{ — напряжение управления.}$$

$\Omega^*_{гр1}$, $I_{я^*_{гр1}}$, $\Omega^*_{гр2}$, $I_{я^*_{гр2}}$ — граничные значения скорости и тока соответственно в I и IV квадрантах и во II и III квадрантах.

ЛИТЕРАТУРА

1. В. А. Бейнарович, Л. С. Удут, В. С. Фадеев, А. Е. Деев. Принципы построения быстродействующих реверсивных электроприводов с тиристорными широтно-импульсными преобразователями со сменным законом коммутации. Настоящий сборник.

2. Л. С. Удут, В. С. Фадеев, В. А. Бейнарович. Расчет механических характеристик электродвигателей при питании от тиристорных РШИП с симметричным управлением. Известия ТПИ, т. 262, изд-во ТГУ, 1972.
