

РАСЧЕТ МЕХАНИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК ЭЛЕКТРОДВИГАТЕЛЕЙ ПРИ ПИТАНИИ ОТ ТИРИСТОРНЫХ РШИП С СИММЕТРИЧНЫМ УПРАВЛЕНИЕМ

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

(Представлена научно-техническим семинаром НИИ АЭМ)

Свойства реверсивных электроприводов с двигателями независимого возбуждения, питающимися от реверсивных широтно-импульсных преобразователей (РШИП) с симметричным законом управления, аналогичны свойствам системы генератор—двигатель, чем и обусловлено их широкое применение. Использование тиристорных ключей в РШИП приводит к необходимости введения временной задержки t_3 между переключениями тиристорных плеч моста. На рис. 1 приведена схема тиристорного РШИП с трансформаторными устройствами принудительной коммутации, из которой видно, что включение, например, тиристора T_4 допустимо только после полного восстановления запирающих свойств тиристора T_1 . Введение временной задержки существенно изменяет режимы работы РШИП, механические характеристики электропривода и вносит отличия в методику их расчета по сравнению с [1].

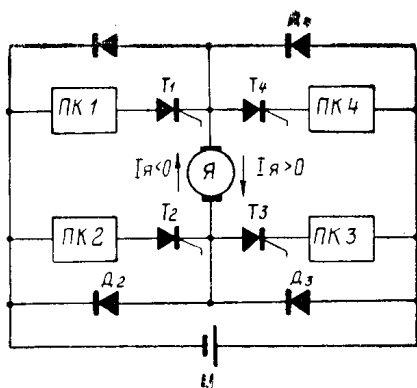


Рис. 1

Проведем анализ квазиустановившихся электромагнитных режимов работы тиристорных РШИП на якорную цепь двигателя независимого возбуждения при следующих допущениях: вентили идеальные (сопротивление равно нулю или бесконечности); параметры цепи якоря $R_я$, $L_я$ постоянные; источник питания с напряжением имеет внутреннее сопротивление, равное нулю, и допускает протекание тока в любом направлении; эдс E двигателя за время периода коммутации T не изменяется; устройство принудительной коммутации в момент выключения тиристорных плеч моста мгновенно уменьшает до нуля напряжение питания двигателя. На рис. 2 приведены диаграммы, иллюстрирующие при принятых допущениях различные режимы работы тиристорного РШИП при постоянной скважности импульсов и различных средних токах и эдс якоря двигателя с учетом возможности протекания тока двигателя через обратные диоды (рис. 1) и источник питания независимо от состояния тиристорных плеч моста. На рис. 2,а показано выходное напряжение. На рис. 2,б показаны диаграммы тока якоря для граничных случаев,

82

разделяющие токовые режимы на ряд характерных зон: режим непрерывного тока — зона I, прерывистых однополярных импульсов тока — зона II, прерывистых биполярных импульсов тока — зона III и режим непрерывного переменного тока (с возможным содержанием постоянной составляющей) — зона IV. Дифференциальные уравнения тока якорной цепи на отдельных интервалах периода коммутации имеют вид

$$\pm U = L_{я} \frac{di_{я}}{dt} + R_{я} i_{я} + E. \quad (1)$$

Решение уравнения (1) с последующим интегрированием позволяет определить механические характеристики для различных режимов работы (зон рис. 2,б). В плоскости механических характеристик четырем возможным токовым режимам будут соответствовать четыре области, разделенные граничными кривыми.

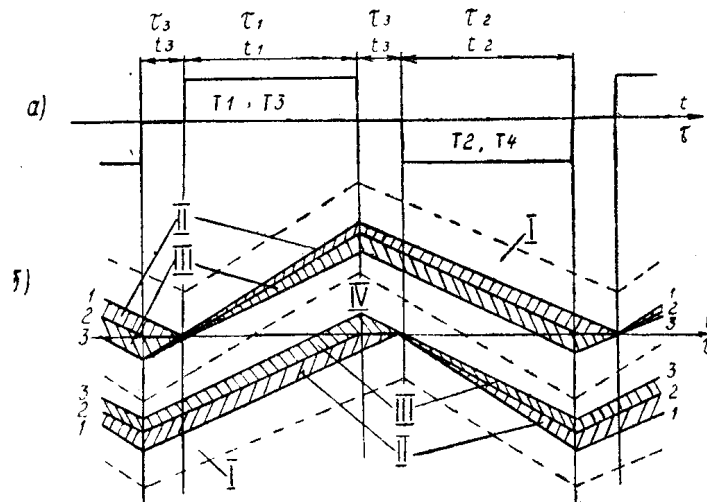


Рис. 2

Определим границу между режимом непрерывного тока (зона I) и режимом прерывистых однополярных импульсов тока (зона II) из условий, что в конце периода значение тока уменьшается до нуля (кривая 1—1 на рис. 2,б). Взяв за единицу измерения времени период коммутации, получим при указанных условиях

$$U(2e^{-\frac{1-\tau_1}{\tau_я}} - e^{-\frac{1}{\tau_я}} - 1) - E_{гр}(1 - e^{-\frac{1}{\tau_я}}) = 0. \quad (2)$$

Применяя разложение в степенной ряд с учетом первых трех членов ряда, получим из (2) упрощенное уравнение для граничной скорости при положительных средних значениях тока двигателя (правая граница)

$$\frac{\omega_{гпр1}}{\omega_0} = \frac{E_{гпр1}}{U} = 2\tau_1 \left(1 + \frac{\tau_2 - 1}{2\tau_я - 1} \right) - 1 \quad (3)$$

и при отрицательных средних значениях тока (левая граница)

$$\frac{\omega_{гпр1}}{\omega_0} = \frac{E_{гпр1}}{U} = 1 - 2\tau_2 \left(1 + \frac{\tau_2 - 1}{2\tau_я - 1} \right). \quad (4)$$

Интегрируя на интервале периода повторения решения уравнения (1) для граничных условий перехода из режима непрерывного тока в режим прерывистых однополярных импульсов тока и применяя разложение в степенной ряд, определим граничное среднее значение тока двигателя для положительных токов (правая граница)

$$I_{\text{нгрп1}} = \frac{U - E_{\text{нгрп1}}}{2 R_{\text{я}} \tau_{\text{я}}} \tau_1 (2 - \tau_1) - \frac{U + E_{\text{нгрп1}}}{2 R_{\text{я}} \tau_{\text{я}}} (1 - \tau_1)^2 \quad (5)$$

и для отрицательных токов (левая граница)

$$I_{\text{орп1}} = - \frac{U - E_{\text{орп1}}}{2 R_{\text{я}} \tau_{\text{я}}} \tau_2 (2 - \tau_2) + \frac{U + E_{\text{орп1}}}{2 R_{\text{я}} \tau_{\text{я}}} (1 - \tau_2)^2. \quad (6)$$

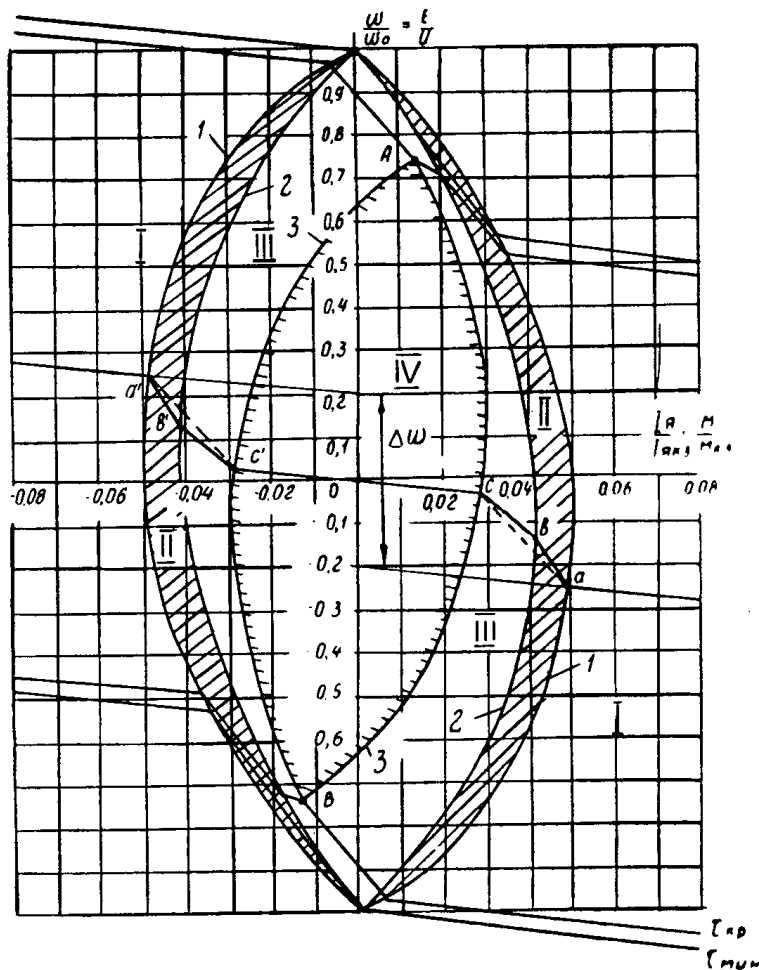


Рис. 3

По уравнениям (3) — (6) на рис. 3 построены границы 1 области режима непрерывного тока (зоны I) в плоскости механических характеристик.

Граничные условия между режимами прерывистых однополярных импульсов тока определяются отсутствием тока в двигателе на интервале одной временной задержки (τ_3) в каждом периоде (кривая 2—2 на рис. 2,б). Используя такую же методику, получаем выражение граничной скорости эдс и граничного среднего тока для положительных токов (правая граница).

$$\frac{\omega_{\text{нрр2}}}{\omega_0} = \frac{E_{\text{нрр2}}}{U} = \frac{2\tau_1(2\tau_2 + 2\tau_3 + \tau_1 - 2)}{2\tau_2(1 - \tau_3) - (1 - \tau_2)^2} - 1 \quad (7)$$

$$I_{\text{нрр2}} = \frac{U - E_{\text{нрр2}}}{2R_{\text{я}}\tau_2} \tau_1(2 - \tau_1 - 2\tau_3) - \frac{U + E_{\text{нрр2}}}{2R_{\text{я}}\tau_2} (1 - \tau_1 - \tau_3)^2 \quad (8)$$

и для отрицательных токов (левая граница)

$$\frac{\omega_{\text{орр2}}}{\omega_0} = \frac{E_{\text{орр2}}}{U} = 1 - \frac{2\tau_2(2\tau_2 + 2\tau_3 + \tau_2 - 2)}{2\tau_2(1 - \tau_3) - (1 - \tau_2)^2}, \quad (9)$$

$$I_{\text{орр2}} = -\frac{U - E_{\text{орр2}}}{2R_{\text{я}}\tau_2} \tau_2(2 - \tau_2 - 2\tau_3) + \frac{U + E_{\text{орр2}}}{2R_{\text{я}}\tau_2} (1 - \tau_2 - \tau_3)^2. \quad (10)$$

На рис. 3 эта граница обозначена цифрой 2.

Граничные условия между режимом прерывистых биполярных импульсов тока и режимом непрерывного переменного тока определяются равенством нулю текущего значения тока в конце каждого периода при наличии изменения направления тока внутри периода (кривая 3—3 рис. 2,б). Соответственно выражения граничных значений скорости, эдс и среднего тока, определяющие правую границу области переменных токов в плоскости механических характеристик, имеют вид

$$\frac{\omega_{\text{нрр3}}}{\omega_0} = \frac{\omega_{\text{нрр1}}}{\omega_0} + \frac{2\tau_3(2\tau_2 - \tau_3)}{2\tau_2 - 1}, \quad (11)$$

$$I_{\text{нрр3}} = I_{\text{нрр1}} - \frac{eU\tau_3}{R_{\text{я}}(2\tau_2 - 1)}, \quad (12)$$

где $\omega_{\text{нрр1}}$, $I_{\text{нрр1}}$ — относительная скорость (3) и средний ток (5) на границе непрерывного режима (кривая 1 рис. 3) при соответствующих значениях τ_1 . Левая граница области переменных токов определяется по уравнениям

$$\frac{\omega_{\text{орр3}}}{\omega_0} = \frac{E_{\text{орр3}}}{U} = \frac{2(\tau_2 + \tau_3 - 1)(1 - \tau_2 - 2\tau_2 + \tau_3)}{2\tau_2 - 1} - 1, \quad (13)$$

$$I_{\text{орр3}} = -\frac{U - E_{\text{орр3}}}{2R_{\text{я}}\tau_2} [(\tau_2 + \tau_3)^2 + 2\tau_2(1 - \tau_2 - \tau_3)] + \frac{U + E_{\text{орр3}}}{2R_{\text{я}}\tau_2} (1 - 2\tau_2 + \tau_2^2 + \tau_3^2). \quad (14)$$

По уравнениям (11)—(14) на рис. 3 построены границы 3 области переменного тока.

Пересечения правой и левой границ 3 (рис. 3) режима переменного тока образуют область IV, внутри которой механические характеристики прямолинейны и выражаются уравнением

$$\frac{\omega_{\text{IV}}}{\omega_0} = (2\tau_1 + \tau_3 - 1) - \frac{I_{\text{я}}}{I_{\text{якз}}}, \quad (15)$$

где $I_{\text{якз}} = \frac{U}{R_{\text{я}}}$ — ток короткого замыкания.

В области непрерывных токов $I_{\text{я}}$ (рис. 3) механические характеристики также прямолинейны, но в правой полуплоскости (при положительных токах) они выражаются уравнением

$$\frac{\omega_{\text{пI}}}{\omega_0} = (2\tau_1 - 1) - \frac{I_{\text{я}}}{I_{\text{якз}}}, \quad (16)$$

а в левой полуплоскости (при отрицательных токах) — уравнением

$$\frac{\omega_{01}}{\omega_0} = (2\tau_1 + 2\tau_3 - 1) - \frac{I_a}{I_{якз}}. \quad (17)$$

В области прерывистых токов II и III (рис. 3) механические характеристики нелинейны. Однако ввиду узости областей прерывистых токов нелинейные механические характеристики можно заменить отрезками прямых, соединяющих точки пересечения механических характеристик для областей I и IV непрерывного тока с границами режимов непрерывного тока I и 3 (рис. 3).

Рекомендуется следующая методика расчета механических характеристик электроприводов с тиристорными РШИП при симметричном совместном управлении.

1. По уравнениям (3), (5) и (4), (6) строится граница 1 (рис. 3) перехода из режима непрерывного в режим прерывистого тока и определяется область I.

2. По уравнениям (11), (12), и (13), (14) строится граница 3 (рис. 3) перехода из режима прерывистого тока в режим переменного тока и определяется область IV.

3. Для заданного значения τ_1 , τ_2 и τ_3 строятся механические характеристики для режимов непрерывного тока: в правой полуплоскости области I (рис. 3) — по (16), в левой полуплоскости области I — по (17), внутри области IV — по (15).

4. Точки пересечения механической характеристики с границами режимов (точки а, с и а', с' на рис. 3) соединяются отрезками прямых так, чтобы получилась непрерывная ломаная механическая характеристика. Если прямая аа' не встречается с областью IV, то режима переменного тока не существует и механическая характеристика представляется в зоне прерывистых токов линией аа'.

При неучете режимов прерывистого тока механические характеристики можно построить в правой полуплоскости по уравнению (16), в левой — по (17). В этом случае при среднем токе, равном нулю, имеется разрыв механической характеристики, сопровождающийся скачком скорости, определяемым из (16) и (17).

$$\frac{\Delta\omega}{\omega_0} = 4\tau_3. \quad (18)$$

Например, при частоте коммутации 500 гц ($T=2000$ мксек) для тиристорov типа Т-150 необходима временная задержка $t_3 \approx 150$ мксек, что приводит к появлению скачка скорости при изменении знака момента (тока) $\frac{\Delta\omega}{\omega_0} = 4 \frac{150}{2000} = 0,3$.

Проведенные эксперименты подтвердили правильность предложенной методики расчета механических характеристик и непригодность для рассматриваемых систем методики [1], разработанной для систем с транзисторными РШИП.

ЛИТЕРАТУРА

1. О. А. Коссов. Усилители мощности на транзисторах в режиме переключений. «Энергия», 1971.