

## ДИСКРЕТНОЕ УПРАВЛЕНИЕ ТОКОМ СТАТОРА ЭЛЕКТРОДВИГАТЕЛЯ

Опейко О.Ф.

Белорусский национальный технический университет,  
Минск, Республика Беларусь

В системах управления электроприводами присутствует дискретность программно-алгоритмического управления на базе микроконтроллера и широтно-импульсная модуляция (ШИМ) полупроводникового преобразователя электрической энергии, от которого питается двигатель. Сигнал управления формируется в микроконтроллере за время  $T_C = t_{IN} + t_C + t_{OUT}$ , где  $t_{IN}$  - время ввода сигналов,  $t_C$  - время расчета сигнала управления,  $t_{OUT}$  - время вывода сигнала управления. Все интервалы времени кратны тактовому периоду. Далее, требуется время не более периода  $T_S$  ШИМ для формирования напряжения преобразователя по сигналу  $u_{dq}$ . Обычно  $T_C = T_S$  и периоды синхронизированы. Таким образом, два дискретных звена: микроконтроллер и преобразователь создают суммарный интервал дискретности  $2T_C$ .

В электроприводах наибольшее быстродействие требуется в контуре тока, что определяет быстродействие и качество всей системы. Структура контура тока на рисунке 1 содержит ПИ- регулятор  $K_{dq}(z) = b_1 + b_0 T_C / (z-1)$  тока и электромагнитное звено двигателя с дискретной передаточной функцией (ДПФ)  $K_C(z) = (1-d_e)/(z-d_e)$ , где  $d_e = \exp(-T_C/T_e)$ ,  $T_e = L_e/R_e$  - постоянная времени электромагнитного процесса,  $L_e$ ,  $R_e$  - эквивалентные индуктивность и сопротивление. Здесь  $b_1$ ,  $b_0$  - искомые параметры регулятора. Ошибка  $e = i_{dq}^* - i_{dq}$  регулирования тока поступает на вход импульсного звена  $I$ , учитывающего квантование по времени.

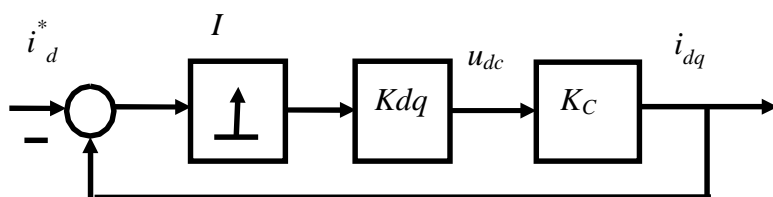


Рисунок 1 – Структура контура тока

Если обозначить  $b_1' = b_1(1-d_e)/R_e$ ,  $b_0' = b_0(1-d_e)T_C/R_e$ , то ДПФ синтезированного контура тока, примет вид

$$W_C(z) = (b_1'(z-1) + b_0') / (z^2 - z((1+d_e - b_1') + b_0' - b_1' + d_e))$$

Характеристический полином контура тока  $N_C(z) = z^2 - z(1 + d_e - b_1') + b_0' - b_1' + d_e$  должен иметь корни внутри единичного круга на

комплексной плоскости  $z$ . Значения желаемых корней  $z_{1,2} = \sigma$  или близкие к ним действительные либо комплексные значения  $z_{1,2} = \sigma \pm j\omega$  обеспечивают процессы, близкие к апериодическим. Время  $t_C$  реакции синтезированного контура тока на единичное воздействие может быть определено выражением  $t_C = mT_C$ , где  $m$  принимает значения от 5 до 20 в зависимости как от инерционности объекта, так и выбора  $\sigma$ .

Коэффициенты  $b_0'$ ,  $b_1'$ , будучи рассчитаны по значениям корней  $z_1$  и  $z_2$  из выражений  $1 + d_e - b_1' = z_1 + z_2$ ,  $b_0' - b_1' + d_e = z_1 z_2$ , позволяют получить параметры регулятора  $b_1 = R_e (1 + d_e - z_1 - z_2) / (1 - d_e)$ ,  $b_0 T_C = (z_1 z_2 + 1 - z_1 - z_2) R_e / (1 - d_e)$ , обеспечивая требуемое время реакции синтезированного контура.

Контур регулирования потокосцепления и скорости являются внешними по отношению к контурам регулирования составляющих тока. При постоянстве потокосцепления электромагнитный момент пропорционален  $i_q$ . В этих условиях динамика контура скорости ограничена допустимым для двигателя ускорением  $\dot{\omega}_{\max} = M_{\max} / J$ , где  $M_{\max}$  - максимальный допустимый момент,  $J$  - приведенный к валу двигателя суммарный момент инерции. Тогда время регулирования скорости  $t_S \geq \Delta\omega / \dot{\omega}_{\max}$ , и, если  $\Delta\omega = \omega_{\text{ном}}$ , то  $t_S \geq \omega_{\text{ном}} / \dot{\omega}_{\max}$ . С другой стороны, по условию устойчивости и качества  $t_S \gg t_C$  а именно,  $t_S > 4 t_C = 4mT_C$ .

Таким образом,

$$t_S \geq \max(J\omega_{\text{ном}} / M_{\max}, 4mT_C).$$

Если  $T_C$  достаточно малая величина, то есть

$$4mT_C < J\omega_{\text{ном}} / M_{\max}, \quad (1)$$

что достигается высокой частотой ШИМ преобразователя, имеется возможность полного использования быстродействия двигателя.

Если же  $4mT_C > J\omega_{\text{ном}} / M_{\max}$ , то из-за невозможности обеспечить устойчивость и качество динамики, при предельно доступном быстродействии контура скорости, двигатель остается недоиспользованным по моменту.

Синхронные электродвигатели с постоянными магнитами (СДПМ) имеют, в сравнении с асинхронными электродвигателями, значительно меньший момент инерции. Для СДПМ особенно актуально выполнение условия (1) для обеспечения малого интервала дискретности  $T_C$  и, следовательно, требуемого быстродействия контура тока.

Следовательно, необходимо формулировать требования к динамике контура тока исходя из требований к быстродействию контура скорости, а выбор преобразователя электрической энергии выполняется с учетом частоты ШИМ.