

**В. С. Мамчич** – студент кафедры электротехники и технической диагностики

**В. А. Атанов** (канд. техн. наук, доц.) – научный руководитель

### РАСЧЕТ ПАРАМЕТРОВ И ЭЛЕМЕНТОВ КОНТУРА УПРАВЛЕНИЯ ПО ТОКУ

В настоящее время наибольшее распространение в электроприводах механизмов подач металлорежущих станков получили одно- и многоконтурные замкнутые системы регулирования.

Одноконтурные системы имеют один суммирующий усилитель, на вход которого подается алгебраическая сумма задающего сигнала и сигналов всех обратных связей. При этом входной сигнал усилителя зависит одновременно от нескольких переменных. Это делает практически невозможным регулирование системы от одной переменной вне связи с остальными переменными (сигналами скорости, положения, момента и др.) Отсюда высокое качество регулирования в таких системах затруднительно и в ряде случаев невозможно.

Эти недостатки устранены в многоконтурных системах, иначе системах подчиненного регулирования. Здесь суммирующие усилители выполняют также математические операции, поэтому их называют регуляторами.

Далее выполнен расчет двухконтурной системы, где внутренний контур с регулированием по току подчинен внутреннему контуру с регулированием по скорости. Для внешнего контура внутренний контур входит в состав объекта регулирования. Расчет выполнен по методике, изложенной в [1, 2].

Наиболее часто используется пропорционально-интегральный ПИ-регулятор, параметры которого подлежат расчету.

Схема ПИ-регулятора приведена на рис. 1.

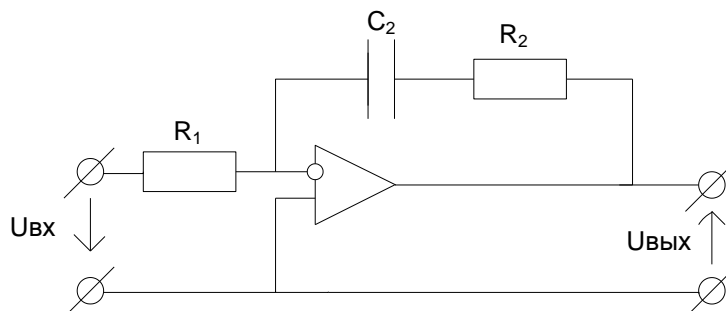


Рис. 1 Схема ПИ-регулятора

Передаточная функция ПИ-регулятора:

$$W_p(p) = \frac{U_{\text{вых}}(p)}{U_{\text{вх}}(p)} = \frac{z_2(p)}{z_1(p)} = \frac{R_2 + \frac{1}{pC_2}}{R_1} = \frac{pR_2C_2 + 1}{pR_1C_2} = \frac{pT_2 + 1}{pT_1}, \quad (1)$$

где  $p$  – оператор Лапласа;  $T_1 = R_1C_1$ ,  $T_2 = R_2C_2$  – постоянные времени; инверсия сигнала учтена направлением стрелки напряжения  $U_{\text{вых}}$ .

Сигнал  $U_{\text{вых}}(t)$  перестает изменяться во времени и сохраняет некоторое постоянное значение, когда  $U_{\text{вх}}(t)$  становится равным нулю. Это соответствует астатическому принципу регулирования.

На рис. 2 показана схема регулятора тока, для передаточной функции  $W_{\text{рт}}(p) = \frac{T_2 + 1}{T_1 p}$  которой необходимо определить параметры  $T_1$ ,  $T_2$  и элементы  $R_1$ ,  $C_2$ ,  $R_2$ .

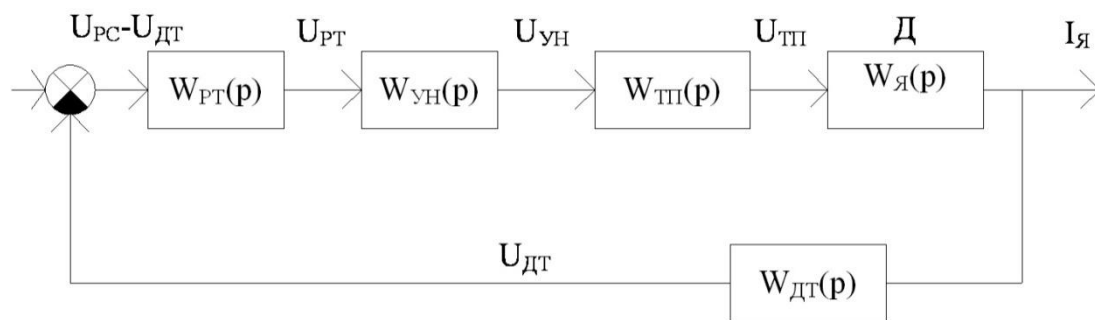


Рис. 2. Структурная схема контура регулирования тока

Передаточная функция якорной цепи двигателя с известными параметрами активного сопротивления  $R_я$  и постоянной времени  $T_я$  всей якорной цепи заданного электропривода [3]

$$W_д(p) = \frac{K_я}{T_я p + 1}; \quad T_я = \frac{\sum L_я}{\sum R_я}; \quad K_я = \frac{1}{R_я}$$

Передаточная функция тиристорного преобразователя (управляемого выпрямителя) имеет вид апериодического звена, где  $K_ТП$  и  $T_ТП$  – коэффициент усиления и постоянная времени преобразователя

$$W_ТП(p) = \frac{K_ТП}{T_ТП p + 1}, \quad K_ТП = K^*_{ТП} K_я.$$

Передаточная функция датчика тока – безынерционное звено с коэффициентом передачи

$$W_ДТ(p) = K_ДТ.$$

Передаточная функция усилителя напряжения

$$W_УН(p) = K_УН.$$

Определим передаточную функцию замкнутого контура регулирования по току.

Передаточная функция разомкнутой цепи без обратной связи по току

$$W_{PK}(p) = W_{PT}(p)W_{ТП}(p)W_д(p)W_УН(p) = \frac{K_ТП(T_2 p + 1) \frac{1}{R_я} K_УН}{T_1 p (T_ТП p + 1)(T_я p + 1)}. \quad (2)$$

С целью повышения быстродействия электропривода по контуру тока необходимо скомпенсировать наибольшую постоянную времени из числа  $T_ТП$  и  $T_я$ . Поскольку  $T_я \gg T_ТП$ , то необходимо скомпенсировать постоянную времени якорной цепи  $T_я$ . Из (2) следует, что это возможно, если принять постоянную времени  $T_2$  равной  $T_я$ ,  $T_я = T_2$ .

Теперь (2) переписывается в виде

$$W_{PK}(p) = \frac{K_ТП \frac{1}{R_я} K_УН}{T_1 p (T_ТП p + 1)}.$$

Передаточная функция замкнутой системы имеет вид

$$W_{ЗК}(p) = \frac{W_{PK}(p)}{1 + W_{PK}(p)W_ДТ(p)}.$$

При известных передаточных функциях звеньев системы получаем:

$$W_{ЗК}(p) = \frac{\frac{K_ТП \frac{1}{R_я} K_УН}{T_1 p (T_ТП p + 1)}}{1 + \frac{K_ТП \frac{1}{R_я} K_УН}{T_1 p (T_ТП p + 1)} K_ДТ} = \frac{\frac{1}{K_ДТ}}{\frac{R_я T_ТП T_1}{K_ТП K_ДТ K_УН} p^2 + \frac{R_я T_1}{K_ТП K_ДТ K_УН} p + 1}. \quad (3)$$

Чтобы переходный процесс в замкнутом контуре по току был оптимальным (малые длительность переходного процесса и перерегулирование 4÷6%), необходимо, чтобы коэффициент затухания был равен  $\frac{\sqrt{2}}{2} = 0,707$

При указанном в таблице соотношении коэффициентов характеристических уравнений характер переходного процесса определяется не всеми членами уравнения, а вырожденным характеристическим уравнением второго порядка.

Таблица

Порядок уравнения	Полное характеристическое уравнение	Вырожденное характеристическое уравнение	Время регулирования $t_1$	Перерегулирование $\sigma$ , %
1	$2T_1 p(T_1 p + 1) + 1$	$2T_1 p(T_1 p + 1) + 1$	$4,7 T_1$	4,33
2	$4T_1 p(2T_1 p(T_1 p + 1) + 1) + 1$	$4T_1 p(2T_1 p + 1) + 1$	$7,6 T_1$	8
3	$8T_1 p(4T_1 p(2T_1 p(T_1 p + 1) + 1) + 1) + 1$	$8T_1 p(4T_1 p + 1) + 1$	$14,4 T_1$	6,2

Это условие выполняется, когда характеристическое уравнение контура на основе знаменателя  $W_{\text{зк}}(p)$  имеет вид

$$2T_{\min}^2 p^2 + 2T_{\min} p + 1 = 0, \quad (4)$$

где  $T_{\min}$  – наименьшая постоянная времени контура тока,  $T_{\min} = T_{\text{тп}}$ .

Приравняем коэффициенты при  $p$  выражений (3) и (4):

$$\frac{R_{\text{я}} T_1}{K_{\text{тп}} K_{\text{дт}} K_{\text{ун}}} = 2T_{\text{тп}}. \quad (5)$$

Тогда многочлен знаменателя (3) принимает вид

$$2T_{\min}^2 p^2 + 2T_{\min} p + 1 = 2T_{\text{тп}} p(T_{\text{тп}} p + 1) + 1.$$

Из (5) постоянная времени

$$T_1 = \frac{2T_{\text{тп}} K_{\text{тп}} K_{\text{дт}} K_{\text{ун}}}{R_{\text{я}}}. \quad (6)$$

Сравнивая выражения для  $T_1$  в (1) и (6) находим:

$$T_1 = R_1 C_2 = \frac{2T_{\text{тп}} K_{\text{тп}} K_{\text{дт}} K_{\text{ун}}}{R_{\text{я}}}. \quad (7)$$

Поскольку для компенсации большой  $T_{\text{я}}$  принято  $T_{\text{я}} = T_2$ , то

$$T_2 = T_{\text{я}} = R_2 C_2.$$

Подставляя условие оптимума (7) в (1), находим передаточную функцию регулятора тока, обеспечивающую оптимальный переходный процесс (минимумы  $t_{\text{тп}}$  и  $\sigma_{\text{max}}$ )

$$W_{\text{рт}}(p) = \frac{(T_{\text{я}} p + 1) R_{\text{я}}}{2T_{\text{тп}} K_{\text{тп}} K_{\text{дт}} K_{\text{ун}} p}.$$

Передаточная функция замкнутого контура при таком регуляторе имеет вид

$$W_{\text{зк}}(p) = \frac{\frac{1}{K_{\text{дт}}}}{2T_{\text{тп}}^2 p^2 + 2T_{\text{тп}} p + 1} = \frac{\frac{1}{K_{\text{дт}}}}{2T_{\text{тп}} p(T_{\text{тп}} p + 1) + 1}.$$

Характеристическое уравнение по знаменателю

$$2T_{\text{тп}} p(T_{\text{тп}} p + 1) + 1 = 0$$

соответствует полному характеристическому уравнению системы второго порядка (таблица).

Это означает, что переходный процесс в контуре тока при выбранной настройке регулятора будет оптимальным.

1. Чиликин М. Г., Сандлер А. С. Общий курс электропривода: Учебник для вузов. 6-е изд., доп. и перераб. М.: Энергоиздат, 1981. с. 466.
2. Ефимов А. А. Проектирование средств контроля и диагностики электромеханических систем. Текст лекций. ч. 1 / А. А. Ефимов, С. Ю. Мельников; Санкт – Петербург. Государственный университет аэрокосмического приборостроения. – СПб: ГОУВПО “СПбГУАП”, 2007. с. 25.
3. Найдис В. А. Лебедев А. М., Орлова Р. Т., Юферов В.Ф. Электроприводы с полупроводниковым управлением. Системы постоянного тока на тиристорах / Под ред. М. Г. Чиликина. М.-Л.: Энергия, 1966. с. 54.