

*Канд. техн. наук, доц. Дрючин В. Г.  
канд. техн. наук, доц. Самчелев Ю. П.  
канд. техн. наук, доц. Шевченко И. С.  
(ДонГТУ, г. Алчевск, Украина)*

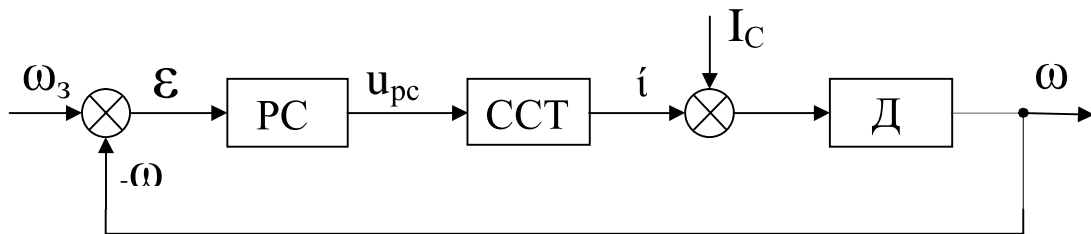
## **ЭЛЕКТРОПРИВОД НА БАЗЕ РЕГУЛИРУЕМОГО ИСТОЧНИКА ТОКА С ПИ-РЕГУЛЯТОРОМ СКОРОСТИ**

*Розглянуто електропривод постійного струму з ПІ-регулятором швидкості та релейною системою стабілізації струму. Наведена методика розрахунку параметрів ПІ-регулятора та результати моделювання.*

С ПИ-регулятором скорости системы подчиненного регулирования электроприводов (ЭП) получили широкое распространение. Токосый контур таких систем выполняет функцию регулируемого источника тока. В [1] рассмотрена система электропривода, токовой контур которой выполнен на базе системы стабилизации тока (ССТ) с релейным регулятором [2], а регулятор скорости – П-регулятор. Проведенный в [1] анализ ЭП позволил предложить методику расчета таких систем электроприводов с учетом насыщения регулятора скорости, определение его параметров, обеспечивающих требуемые качественные показатели. Заслуживает внимание анализ систем электропривода подобного типа с другими типовыми регуляторами скорости и, в частности, с ПИ-регулятором.

**Постановка задачи.** Определение параметров ПИ-регулятора скорости системы электропривода, выполненной на базе релейной ССТ, которые обеспечивали бы требуемые качественные показатели ЭП с учетом насыщения регулятора.

**Изложение материала.** Рассмотрим ЭП с ПИ-регулятором скорости, блок-схема которого представлена на рисунке 1.



РС – регулятор скорости; ССТ – система стабилизации тока якоря;  
 Д – электромеханическая часть электродвигателя.

Рисунок 1 – Блок-схема электропривода с ССТ

Регулятор описывается выражениями

$$u_{pc} = k_p \varepsilon + \frac{k_p}{T_u} \int \varepsilon dt, \quad \varepsilon \leq \delta \quad (1)$$

$$u_{pc} = B_c, \quad \varepsilon \geq \delta,$$

где  $u_{pc}$  – выходной сигнал регулятора скорости;

$\varepsilon = \omega_3 - \omega$  – ошибка системы электропривода по скорости;

$k_p, T_u$  – параметры ПИ-регулятора;

$B_c, \delta$  – параметры зоны насыщения регулятора.

Работа ЭП с ПИ-регулятором скорости рассматривается в соответствии с методикой, принятой в [1] с учетом нелинейности характеристики регулятора.

При подаче на вход системы  $\omega_3$  на выходе РС, согласно (1), будем иметь сигнал  $u_{pc} = B_c$ , соответствующий определенному току задания

$$I_3 = \frac{B_c}{k_T} \quad (k_T - \text{коэффициент передачи датчика тока в ССТ}).$$

Вход в режим стабилизации тока характеризуется изменением тока на выходе ССТ в соответствии с [2]:

$$i = k_n \cdot k \cdot B_T \left( 1 - e^{-t/T_я} \right), \quad (2)$$

а длительность этого процесса определяется выражением

$$t_1 = -T_{я} \ln \left( 1 - \frac{I_3}{k \cdot k_n \cdot B_T} \right), \quad (3)$$

где  $T_{я} = \frac{L_{я}}{R_{я}}$ ,  $k = \frac{I}{R_{я}}$ ,  $L_{я}$ ,  $R_{я}$  – параметры якорной цепи двигателя;

$k_n$  – коэффициент передачи преобразователя;

$B_T$  – «полка» релейного регулятора тока.

При  $t = t_1$  скорость двигателя будет равна

$$\omega_1 = \frac{k_{\partial} \cdot k_n \cdot B_T}{T_M} \left[ (t_1 - t_1') + T_{я} \left( e^{-t_1/T_{я}} - e^{-t_1'/T_{я}} \right) \right], \quad (4)$$

где  $k_{\partial}$ ,  $T_M$  – соответственно коэффициент передачи и электромеханическая постоянная времени двигателя;

$t_1'$  – время достижения током ССТ значения  $i = I_c$ , которое определяется выражением

$$t_1' = -T_{я} \ln \left( 1 - \frac{I_c}{k \cdot k_n \cdot B_T} \right). \quad (5)$$

При этом ошибка системы регулирования скорости на данном интервале будет определяться:

$$\varepsilon = \omega_3, \quad 0 \leq t \leq t_1';$$

$$\varepsilon = \omega_3 - \frac{k_{\partial} \cdot k_n \cdot B_T}{T_M} \left[ (t - t_1') + T_{я} \left( e^{-t/T_{я}} - e^{-t_1'/T_{я}} \right) \right], \quad t_1' \leq t \leq t_1, \quad (6)$$

т. е.  $\varepsilon > \delta$  и на выходе регулятора скорости в соответствии с (1) имеет место  $u_{pc} = B_c$ .

Интегральная составляющая выхода регулятора скорости к концу первого интервала равна

$$u_{pcI}^u = \frac{k_p}{T_u} \left( \omega_3 t_1 - \frac{k_p \cdot k_n \cdot B_T}{T_M} \left[ \frac{1}{2} (t_1^2 - t_1'^2) - t_1' (t_1 - t_1') - T_{я}^2 \times \right. \right. \\ \left. \left. \times (e^{-t_1/T_{я}} - e^{-t_1'/T_{я}}) - T_{я} e^{-t_1'/T_{я}} (t_1 - t_1') \right] \right) \quad (7)$$

В режиме стабилизации тока (второй интервал) на выходе ССТ будем иметь  $I = I_3$ .

В соответствии с уравнением движения электропривода скорость двигателя на данном участке определяется как

$$\omega = \frac{k_{\partial} R_{я}}{T_M} (I_3 - I_c) \cdot t + \omega_1 \quad (8)$$

Ошибка системы электропривода в конце рассматриваемого интервала определяется выражением

$$\varepsilon = \omega_3 - \omega_1 - \frac{k_{\partial} R_{я}}{T_M} (I_3 - I_c) \cdot t_2 \quad (9)$$

Из условия равенства  $\varepsilon = \delta$  определяется длительность второго интервала

$$t_2 = \frac{(\omega_3 - \omega_1 - \delta) T_M}{k_{\partial} R_{я} (I_3 - I_c)} \quad (10)$$

Выходной сигнал регулятора скорости в конце второго интервала определяется выражением

$$u_{pcII} = u_{pcII}^n + u_{pcII}^u = k_p \delta + \frac{k_p T_M ((\omega_3 - \omega_1)^2 - \delta^2)}{2 T_u k_{\partial} R_{я} (I_3 - I_c)} + u_{pcII}^u = B_c \quad (11)$$

При  $t > t_2$  ошибка системы уменьшается, что в соответствии с (1) приведет к уменьшению  $u_{pc}$  и отключению двигателя от ССТ и замыканию обмотки якоря через обратный диод [2].

Ток двигателя на этом интервале будет определяться выражением

$$I = I_3 e^{-t/T_{cp}}, \quad (12)$$

где  $T_{cp} = T \frac{m+1}{2}$ ;  $m = \frac{I_3}{I_c}$ ;  $T \approx \frac{L_{я} \cdot I_3 \cdot k_{\partial}}{\omega_3 - \delta}$  – постоянная времени в начале рассматриваемого интервала.

Продолжительность изменения тока от  $I = I_3$  до  $I = I_c$  (время третьего интервала) определяется из (12)

$$t_3 = T \frac{m+1}{2} \ln m \quad (13)$$

На этом интервале скорость двигателя будет продолжать увеличиваться (т. к.  $I > I_c$ ), а ошибка

$$\varepsilon = \delta - \frac{k_{\partial} R_{я}}{T_M} [T_{cp} I_3 (1 - e^{-t/T_{cp}}) - I_c \cdot t] \quad (14)$$

будет уменьшаться. В конце третьего интервала ошибка системы должна стать равной нулю, т. е.

$$\frac{k_{\partial} R_{я}}{T_M} (T_{cp} I_3 (1 - e^{-t_3/T_{cp}}) - I_c \cdot t_3) = \delta \quad (15)$$

Учитывая (13), выражение (15) можно записать

$$\delta = \frac{k_{\partial} R_{я}}{T_M} T_{cp} (m - 1 - \ln m) I_c \quad (16)$$

Выходной сигнал регулятора скорости в конце третьего интервала должен обеспечивать на выходе ССТ  $I = I_c$ , т. е.

$$u_{pcIII} = \frac{k_p T_{cp} \ln m}{T_u} \delta - \frac{k_{\partial} k_p R_{я} T_{cp}^2}{2 T_u T_M} [(2 I_3 - I_c \ln m) \ln m - 2(I_3 - I_c)] + u_{pcII}^u = \frac{B_c}{m} \quad (17)$$

Проведенный анализ системы регулирования скорости с ПИ-регулятором скорости и релейной ССТ позволяет осуществить выбор параметров ПИ-регуляторов в следующей последовательности:

- из условия обеспечения предельного быстродействия выбирают  $B_c = k_T I_3 = k_T \cdot 2,5 I_H$  ( $I_H$  – номинальный ток двигателя);
- для номинальной нагрузки ( $I_c = I_H$ ) определяем  $\delta$  ПИ-регулятора в соответствии с (16);
- решая совместно (11) и (17) с учетом (7), (3), (5), найдем  $k_p$  и  $T_i$  ПИ-регулятора;
- в соответствии с (3), (5), (10), (13) можно определить длительность разгона двигателя до заданной скорости при найденных параметрах ПИ-регулятора.

Работа системы электропривода с ПИ-регулятором скорости, параметры которого определены по предложенной методике, представлены на рисунке 2.

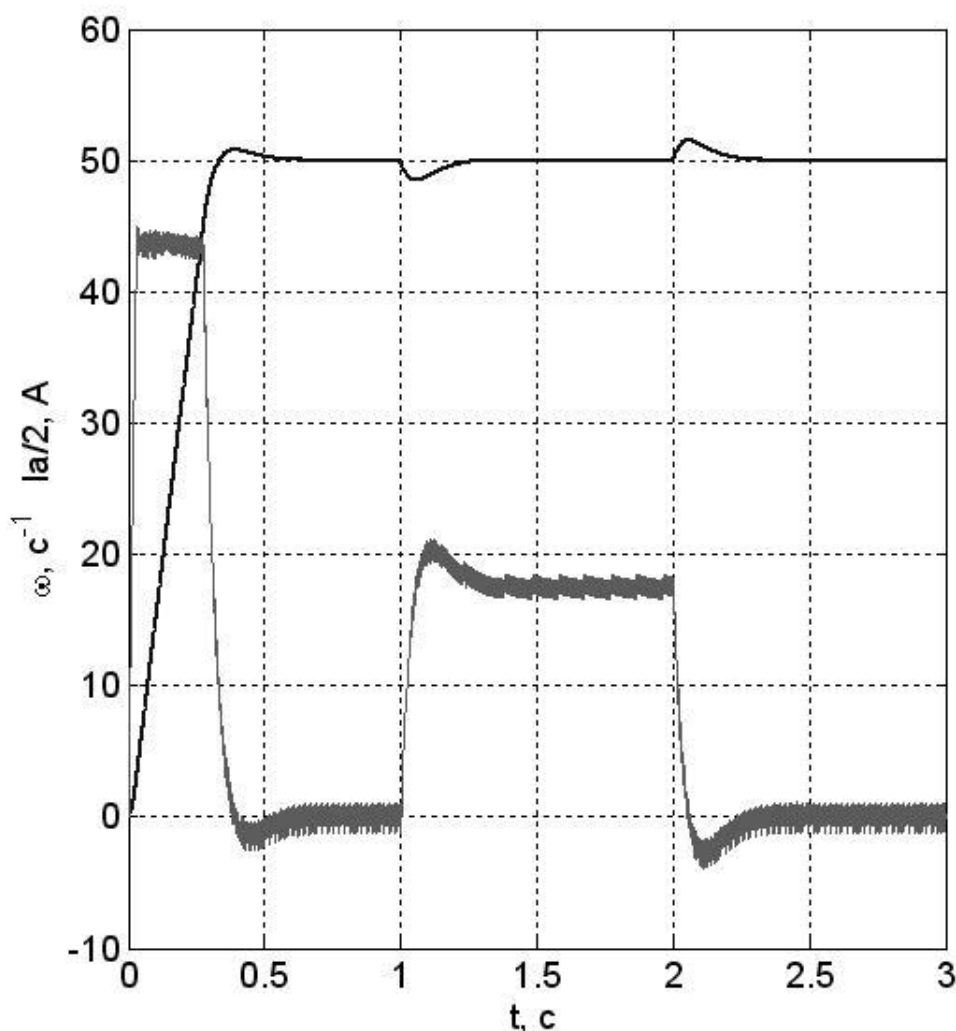


Рисунок 2 – Переходные процессы скорости и тока в режиме пуска и сброса-наброса нагрузки

**Выводы.** Работа электропривода на базе ССТ с релейным управлением и ПИ-регулятором скорости, с параметрами определенными по предложенной методике, обладает заданными качественными показателями, что подтверждено моделированием.

*Рассмотрен электропривод постоянного тока с ПИ-регулятором скорости и релейной системой стабилизации тока. Приведены методика расчета параметров ПИ-регулятора и результаты моделирования.*

*The electric drive of a direct current with a speed PI-governor and relay's system stabilizing a current is reviewed. The techniques of calculation of parameters of the PI- regulator and outcomes of simulation are submitted.*

#### **Библиографический список**

1. Дрючин В.Г., Самчелев Ю.П., Шевченко И.С. Электропривод на базе регулируемого источника постоянного тока // Сборник научных трудов. – 2005. – выпуск №19 – С. 404-409.
2. Самчелев Ю.П., Скурятин Ю.В., Дрючин В.Г. и др. Система стабилизации тока с релейным управлением // Электротехника и электроэнергетика. – 2004. - №1. – С. 60-66.