

ОПТИМИЗАЦИЯ ЭЛЕКТРОПРИВОДА СО СТАБИЛИЗИРОВАННОЙ СИСТЕМОЙ ТОКА

Введение. Системы подчиненного регулирования электроприводов получили широкое распространение благодаря простоте ограничения фазовых координат [1]. В [2] рассмотрена система электропривода, токовый контур которой выполнен на базе системы стабилизации тока (ССТ) с релейным регулятором, т.е. в качестве регулятора тока используется релейный элемент. В [3] всесторонне исследована ССТ при различных нагрузках, в том числе и при работе на двигатель постоянного тока, которые показали, что токовый контур (ССТ) в широком диапазоне частот можно рассматривать как безынерционное звено. В [2, 4] рассмотрены электроприводы на базе ССТ с П и ПИ-регуляторами скорости. Однако, приведенная там методика расчета параметров регуляторов не позволяет обеспечить наперед заданную траекторию переходного процесса, его длительность, астатизм контуров, т.к. для оптимизации контуров систем подчиненного регулирования применяются технический или симметричный оптимум.

Постановка задачи исследования. Синтез регуляторов скорости и положения системы подчиненного регулирования с токовым контуром, выполненным на базе ССТ, обеспечивающей наперед заданные траектории выходных координат контуров с заданной длительностью переходного процесса.

Изложение материала. Рассмотрим позиционный электропривод с ПИ-регулятором скорости и ПИ-регулятором положения, блок-схема которого представлена на рис. 1.

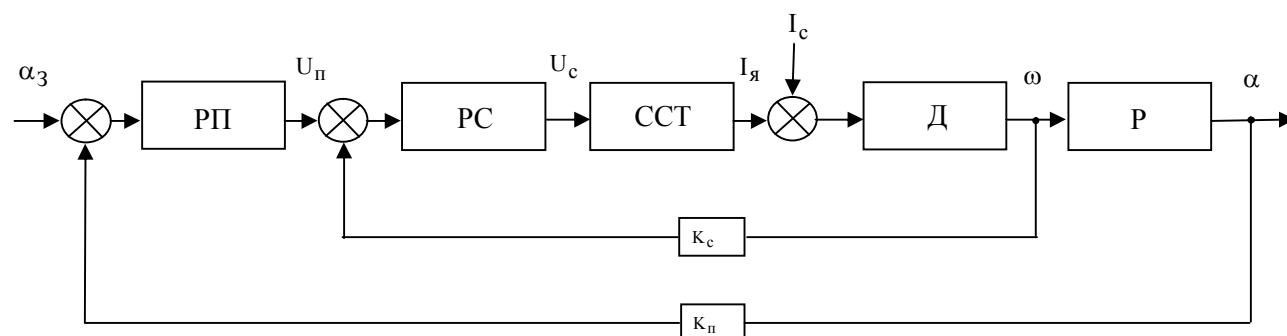


Рис. 1. Структурная схема позиционного электропривода

Регулятор скорости. При синтезе регулятора скорости токовый контур (ССТ) идентифицируем безынерционным звеном с коэффициентом передачи k_T [3]. С учетом идентификации токового контура, а также того, что для обеспечения нулевой статической ошибки по скорости на входе токового контура необходим ПИ-регулятор, запишем уравнения движения токового контура:

$$\dot{\omega} = \frac{k_d R_{\text{я}}}{T_M} (I_{\text{я}} - I_c), \quad I_{\text{я}} = k_T u_c, \quad u_c = k_p^c \varepsilon + \frac{k_p}{T_i^c} \int \varepsilon dt, \quad \varepsilon = u_{\text{п}} - k_c \omega, \quad (1)$$

где $k_d, R_{\text{я}}, T_M$ - параметры двигателя; ω - скорость двигателя; $I_{\text{я}}, I_c$ - токи якоря (выход ССТ) и статической нагрузки соответственно; $u_{\text{п}}$ - выход регулятора положения; k_c - коэффициент передачи датчика скорости; k_p, T_i - параметры ПИ-регулятора скорости.

В соответствии с (1) замкнутый контур скорости характеризуется уравнением

$$\ddot{\omega} + \frac{k_p^c k_d R_{\text{я}} k_T k_c}{T_M} \dot{\omega} + \frac{k_p^c k_T k_d R_{\text{я}} k_c}{T_i^c T_M} \omega = \frac{k_p^c k_T k_d R_{\text{я}}}{T_i^c T_M} u_{\text{п}} + \frac{k_p^c k_T k_d R_{\text{я}}}{T_M} \dot{u}_{\text{п}} - \frac{k_d R_{\text{я}}}{T_M} \dot{I}_c. \quad (2)$$

Желаемые качественные показатели (траекторию переходного процесса и время регулирования) зададим желаемым характеристическим уравнением скоростного контура

$$p^2 + \gamma_2 p + \gamma_1 = 0, \quad (3)$$

где γ_1 и γ_2 - коэффициенты, задающие распределение корней характеристического уравнения.

Сравнивая характеристическое уравнение дифференциального выражения (2) и желаемое характеристическое уравнение (3), получим параметры ПИ-регулятора скорости

$$k_p^c = \frac{\gamma_2 T_M}{k_T k_d k_c R_{я}}, \quad T_{и}^c = \frac{\gamma_2}{\gamma_1}. \quad (4)$$

Подставляя (4) в (2) получим

$$\ddot{\omega} + \gamma_2 \dot{\omega} + \gamma_1 \omega = \frac{\gamma_1}{k_c} u_{п} + \frac{\gamma_2}{k_c} \dot{u}_{п} - \frac{k_d R_{я}}{T_M} \dot{I}_c. \quad (5)$$

Для стандартных форм характеристического уравнения (3)

$$\gamma_2 = \frac{a_2}{t_{pc}}, \quad \gamma_1 = \frac{a_1}{t_{pc}^2}, \quad (6)$$

где t_{pc} - время регулирования (переходного процесса) скоростного контура; a_1, a_2 - коэффициенты, соответствующие той или иной стандартной форме.

С учетом (6) параметры ПИ-регулятора скорости определяются как

$$k_p^c = \frac{a_2 T_M}{k_T k_d k_c R_{я} t_{pc}}, \quad T_{и}^c = \frac{a_2 t_{pc}}{a_1}. \quad (7)$$

Синтез регулятора положения. При синтезе регулятора положения скоростной контур идентифицируем аperiодическим звеном с передаточной функцией $W_c(p) = \frac{1/k_c}{T_c p + 1}$, где $T_c \approx \frac{t_{pc}}{5}$.

С учетом идентификации скоростного контура, а также того, что для обеспечения нулевой статической ошибки по положению на входе скоростного контура необходим ПИ-регулятор положения, запишем уравнение движения контура положения:

$$\ddot{\alpha} + \frac{1}{T_c} \dot{\alpha} + \frac{k_p^n \cdot 1/k_c \cdot m \cdot k_{п}}{T_{п} \cdot T_c} \dot{\alpha} + \frac{k_p^n \cdot 1/k_c \cdot k_{п} \cdot m}{T_{и}^n \cdot T_{п} \cdot T_c} \alpha = k_p^n \cdot 1/k_c \cdot m \cdot \alpha_3 + k_p^n \cdot 1/k_c \cdot m \cdot T_{и}^n \cdot \dot{\alpha}_3. \quad (8)$$

Желаемые качественные показатели контура положения зададим желаемым видом характеристического уравнения

$$p^3 + \beta_3 p^2 + \beta_2 p + \beta_1 = 0, \quad (9)$$

где $\beta_1, \beta_2, \beta_3$ - коэффициенты, задающие распределение корней характеристического уравнения.

Сравнивая характеристическое уравнение выражения (8) с характеристическим уравнением (9), получим параметры ПИ-регулятора положения:

$$k_p^n = \frac{\beta_2 T_{п} T_c}{k_{п} \cdot 1/k_c \cdot m}, \quad T_{и}^n = \frac{\beta_2}{\beta_1}. \quad (10)$$

При этом следует отметить, что для обеспечения заданного распределения корней характеристического уравнения (9) необходимо, чтобы

$$\beta_3 = \frac{1}{T_c} \approx \frac{5}{t_{pc}}. \quad (11)$$

Уравнение позиционной системы электропривода с учетом (10) будет иметь вид:

$$\ddot{\alpha} + \beta_3 \dot{\alpha} + \beta_2 \alpha + \beta_1 = \frac{\beta_1}{k_{п}} \alpha_3 + \frac{\beta_2}{k_{п}} \dot{\alpha}_3 \quad (12)$$

Для стандартных формул характеристического уравнения (9)

$$\beta_3 = \frac{b_3}{t_{pn}}, \quad \beta_2 = \frac{b_2}{t_{pn}^2}, \quad \beta_1 = \frac{b_1}{t_{pn}^3}, \quad (13)$$

где t_{pn} - время переходного процесса контура положения; b_1, b_2 и b_3 - коэффициенты, соответствующие стандартной форме.

Выражения (11) и (13) позволяют установить соотношения между временами переходных процессов скоростного контура и контура положения, а именно

$$t_{pc} \approx \frac{5t_{pn}}{b_3}. \quad (14)$$

Следует также отметить, что в соответствии с проведенным выше синтезом ПИ-регуляторов контуров скорости и положения, они, согласно (5) и (12), характеризуются астатизмом второго порядка. Соотношения (7), (10), (14) определяют порядок выбора времени регулирования контуров и параметров ПИ-регуляторов.

В качестве иллюстрации изложенного подхода синтеза регуляторов системы подчиненного регулирования с ССТ рассмотрим пример.

Пример. В качестве примера исследуем систему электропривода с ССТ с параметрами $k_d = 0,385 \text{ с}^{-1}/\text{В}$; $T_{я} = 0,0383 \text{ с}$; $T_M = 0,2 \text{ с}$; $k_{ТП} = 22$; $V_T = 10 \text{ В}$; $\delta_T = 0,1 \text{ В}$; $R_{я} = 1,02 \text{ Ом}$; $k_T = 1 \text{ В/А}$; $k_c = 1 \text{ В/с}^{-1}$.

Зададим аperiodический переходный процесс в скоростном контуре длительностью $t_{pc} = 0,5 \text{ с}$. Тогда параметры ПИ-регулятора скорости (7) равны $k_p^c = 10,18$ $T_i^c = 0,2 \text{ с}$.

Переходные процессы по задающему и возмущающему воздействиям синтезированного скоростного контура приведены на рис.2 (кривая 1 и 2).

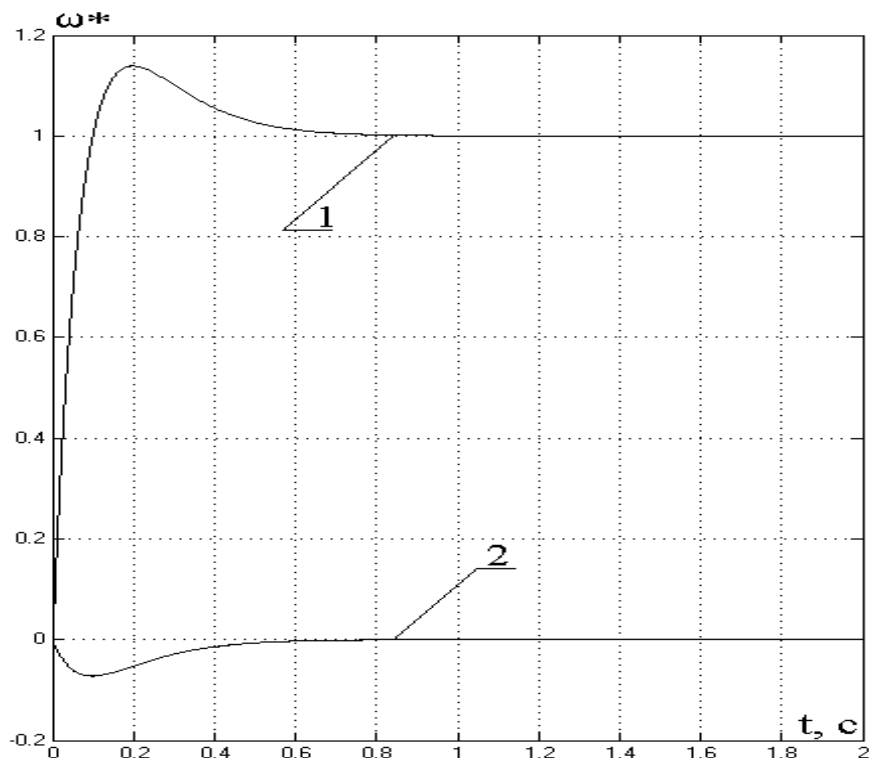


Рис.2. Кривые переходного процесса скоростного контура

Выводы. Синтез контуров скорости и положения системы электропривода с ССТ, проведенный в работе, позволяет обеспечить задание желаемого качества регулирования (желаемой траектории движения выходной координаты с заданным временем регулирования соответствующего контура), при этом определено соотношение, которое необходимо выполнять при синтезе между временем регулирования скоростного контура и контура положения.

Литература.

1. Лебедев Е.Д., Неймарк В.Е., Пистрак М.Я. и др. Управление вентильными электроприводами постоянного тока. – М.: Энергия, 1970.
2. Дрючин В.Г., Самчелев Ю.П., Шевченко И.С. Электропривод на базе регулируемого источника тока // Сборник научных трудов ДонГТУ. – 2005. – Выпуск 19. – С.404 – 409.
3. Самчелев Ю.П., Скурятин Ю.В., Дрючин В.Г. и др. Система стабилизации тока с релейным управлением // Электротехника и электроэнергетика. – 2004. - №4. – С. 60-66.
4. Дрючин В.Г., Самчелев Ю.П., Шевченко И.С. Электропривод на базе регулируемого источника тока с ПИ-регулятором скорости // Сборник научных трудов ДонГТУ – 2006. – Выпуск 21. – С. 159 – 165.

Electric drive with stabilized current system optimization

The Synthesis of PI-regulators of speed and position problems with current circuit, done on the relay control current stabilization system basis on condition of needed type of changing process providing (optimization) with the given time regulation of the abovementioned circuits are considered in the work.

Drjuchin V.G., Samchelev U.P., Shevchenko I.S.