

## ПАРАМЕТРИЧЕСКАЯ ОПТИМИЗАЦИЯ УПРАВЛЕНИЯ ЭЛЕКТРОМЕХАНИЧЕСКИМИ СИСТЕМАМИ С ИДЕНТИФИЦИРОВАННОЙ ПЕРЕДАТОЧНОЙ ФУНКЦИЕЙ

*В. М. Чермалых, докт. техн. наук, И. Я. Майданский, инж., А. В. Босак, инж. (НТУУ “КПИ”)*

*Розглянуто питання параметричної оптимізації системи управління електроприводом з пружними ланками з використанням ідентифікованої передавальної функції об'єкта на основі Z-перетворювань та схеми в змінних стану.*

*Ключові слова: параметрична оптимізація, ідентифікована передавальна функція, пружні ланки, оптимальне управління, електропривід.*

*Рассмотрен вопрос параметрической оптимизации системы управления электроприводом с упругими звеньями с использованием идентифицированной передаточной функции объекта на основании Z-преобразований и схемы в переменных состояниях.*

*Ключевые слова: параметрическая оптимизация, идентифицированная передаточная функция, упругие звенья, оптимальное управление, электропривод.*

*The question concerning parametrical optimization of electric drive control system with soft links using transfer function based on z-transformations and state variable scheme is considered.*

*Key words: parametrical optimization, transfer function, elastic links, optimal control, electric drive.*

**Введение.** Работа направлена на решение проблемы создания энергосберегающей и оптимальной по переходному процессу системы позиционного управления с идентифицированной передаточной функцией.

**Анализ состояния проблемы.** Принцип построения системы оптимального управления со специальным логическим устройством, формирующим ступенчато изменяющийся движущий момент, показан в работе [1], а моделирование электромеханической системы с упругими связями и управляющим устройством на основе нечеткой логики изложено в работе [2]. В этих работах предполагается известным математическое описание объекта управления.

В данной статье, с учетом выполненных исследований в указанных выше работах, предложен новый подход к формированию заданного режима функционирования электромеханической системы в режиме позиционирования с использованием параметрической оптимизации управления с идентифицированной передаточной функцией.

**Целью работы** является обеспечение оптимального по быстродействию и ошибке позиционирования режима управления электромеханическими системами.

**Материалы и результаты исследования.** Значительная часть современных электромеханических систем (ЭМС) имеет сложную структуру, обусловленную наличием механической трансмиссии с упругими звеньями, полупроводниковых преобразователей мощности, частотно-регулируемых двигателей переменного тока. Математическое описание таких систем практически невозможно без пренебрежения рядом зависимостей, играющих

важную роль в динамическом процессе и построении системы управления. Поэтому обеспечение оптимального изменения с достаточной точностью управляемых переменных (скорости или положения рабочего органа) представляет определенные трудности.

К наиболее важным критериям оптимизации ЭМС относятся: максимальное быстродействие, минимальные потери энергии, минимальные динамические нагрузки. При определенных управляющих воздействиях и параметрах регуляторов можно реализовать режим, практически удовлетворяющий всем трем критериям. Так, если при незначительном увеличении времени переходного процесса, используя ступенчатое изменение движущего момента, исключить колебания динамических нагрузок, то будут обеспечены минимальные потери энергии.

Для позиционных ЭМС важно точно остановить рабочий орган в заданном положении.

Для реализации оптимального управления ЭМС должны быть решены следующие задачи: определение математической модели объекта управления с выходными измеряемыми координатами; построение управляющего устройства, формирующего задающие воздействия, и выбор регулятора, обеспечивающего оптимальное функционирование ЭМС.

Поскольку рабочий динамический режим определяется реальной передаточной характеристикой управляемой координаты, то для ее определения целесообразно подать ступенчатый управляющий сигнал на преобразователь мощности и определить дискретную переходную характеристику управляемой переменной (например, частоты рабочего органа).

По виду экспериментальной характеристики определяется соответствующая математическая модель с использованием метода  $Z$ -преобразования непрерывных сигналов в дискретные.

Силовая часть большинства регулируемых электроприводов с тиристорными преобразователями мощности может быть аппроксимирована переходной характеристикой третьего порядка с передаточной функцией  $W(p)$

$$W(p) = \frac{b_0}{p^3 + a_1 p^2 + a_2 p + a_3}. \quad (1)$$

Коэффициенты  $a_1, a_2, a_3, b_0$  определяются по дискретным значениям ординат экспериментальной переходной характеристики. Поэтому непрерывная передаточная функция (1) должна быть представлена в дискретном виде [3], используя соотношения

$$p^{-1} \Rightarrow \frac{T}{Z-1}; \quad p^{-2} \Rightarrow \frac{T^2(Z+1)}{2(Z-1)^2}; \quad p^{-3} \Rightarrow \frac{T^3 Z(Z+1)}{2(Z-1)^3}.$$

Таким образом, получается следующая зависимость:

$$\frac{b_0}{p^3 + a_1 p^2 + a_2 p + a_3} \Rightarrow \frac{B(Z^{-1} + Z^{-2})}{1 + A_1 Z^{-1} + A_2 Z^{-2} + A_3 Z^{-3}}, \quad (2)$$

где

$$\begin{cases} A_1 = \frac{2a_1T + a_2T^2 + a_3T^3 - 6}{2}; \\ A_2 = \frac{a_3T^3 - 4a_1T + 6}{2}; \\ A_3 = \frac{2a_1T - a_2T^2 - 2}{2}; \end{cases} \quad (3)$$

$$B = b_0T^3/2; \quad (4)$$

$Z^{-1}$  – запаздывание на период дискретности  $T$  (рис. 1).

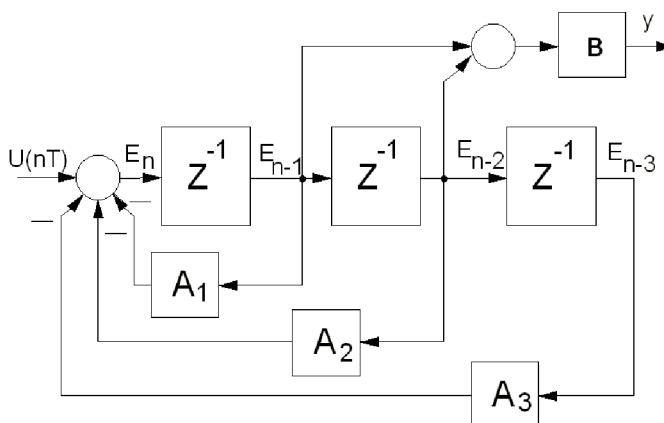


Рис. 1. Схема в переменных состояния системы третьего порядка

Коэффициенты  $A_1, A_2, A_3$  определяются по дискретным значениям реальной переходной характеристики [4].

Из зависимостей (3) находятся значения коэффициентов  $a_1, a_2, a_3$ , соответствующих непрерывной передаточной функции (1):

$$\begin{cases} a_1 = \frac{A_1 - A_2 + A_3 + 7}{2}; \\ a_2 = \frac{a_1T - 2A_3 - 2}{T^2}; \\ a_3 = \frac{2A_2 + 4A_1T - 6}{T^3}. \end{cases} \quad (5)$$

В качестве экспериментальной характеристики примем переходную характеристику, полученную по структурной схеме разомкнутой по скорости рабочего механизма  $\omega_2$  системы управления (рис. 2), при следующих значениях параметров:  $K_{\text{ТП}} = 20$ ;  $T_{\mu} = 0,01$ ;  $1/R_{\text{Я}} = 20$ ;  $T_{\text{Э}} = 0,15$ ;  $C_d = 2,63$ ;  $J_1 = 23$ ;  $J_2 = 46$ ;  $C_Y = 200$ ;  $C_{\text{ДФ}} = 20$ ;  $K_C = 0,127$ ;  $K_T = 0,023$ ;  $U_{3\text{С}} = 10$ .

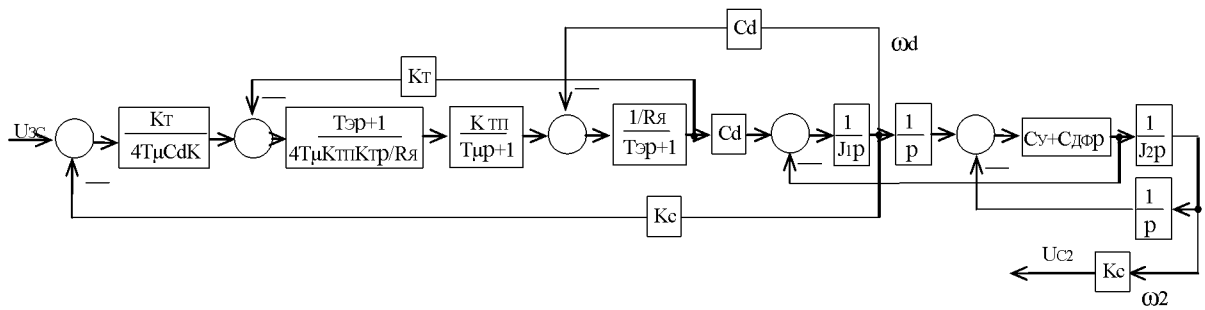


Рис. 2. Схема разомкнутой системы ТП-Д

График переходного процесса  $U_{C2}(t)$  при входном воздействии  $U_{3C} = 10$  приведен на рис. 3 (кривая 1).

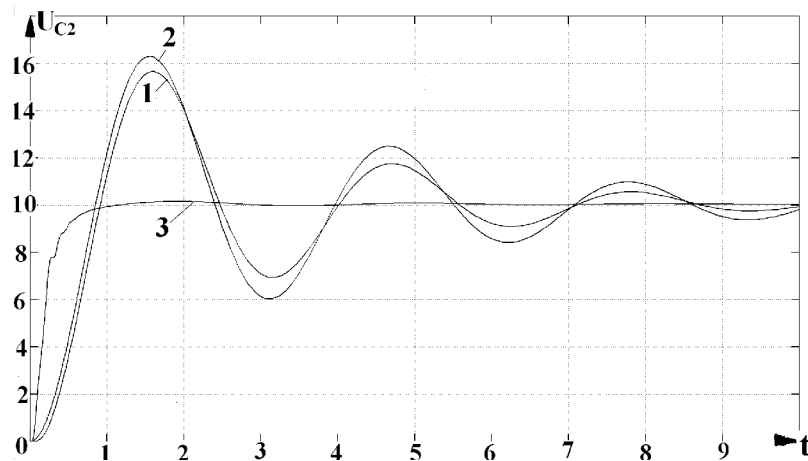


Рис. 3. График переходного процесса с характеристиками: 1 – экспериментальная; 2 – аппроксимирующая; 3 – переходная с ПИД-регулятором

Аппроксимирующая характеристика определяется по координатам начала установившегося переходного процесса. В данном случае рассмотрен участок в окрестностях точки  $t = 2,0$ , которому при шаге интегрирования  $T = 0,01$  соответствуют ординаты:  $y_{n-3} = 13,40571$ ;  $y_{n-2} = 13,32476$ ;  $y_{n-1} = 13,24303$ ;  $y_n = 13,16055$ ;  $y_{n+1} = 13,07736$ ;  $y_{n+2} = 12,99351$ ;  $y_{n+3} = 12,90903$ .

По данным координатам, согласно схеме на рис. 1, составляется система уравнений, в результате которой определяются параметры  $A_1, A_2, A_3$ , по которым на основании зависимостей (5) находятся значения коэффициентов  $a_1, a_2, a_3$  непрерывной передаточной функции.

Поскольку в большинстве случаев экспериментальная переходная характеристика системы третьего порядка по виду соответствует второму порядку (например, зависимость 1 на рис. 3), то можно идентифицированную передаточную функцию определить в таком виде:

$$W(p) = \frac{k_0}{a_0 p^2 + a_1 p + 1} = \frac{U_{C2}(p)}{U_{3C}(p)}. \quad (6)$$

Тогда коэффициенты  $a_0$  и  $a_1$ , определенные по дискретной модели, аналогичной модели, приведенной на рис. 1, равны:  $a_0 = 0,2398$ ;  $a_1 = 0,1427$ ;  $k_0 = 1$ . Идентифицированная переходная характеристика разомкнутой системы при ступенчатом входном воздействии  $U_{3C} = 10$  показана на рис. 3 (зависимость 2).

По идентифицированной передаточной функции  $\frac{U_{C2}(p)}{U_{3C}(p)}$  выбирают параметры ПИД-регулятора (рис. 4).

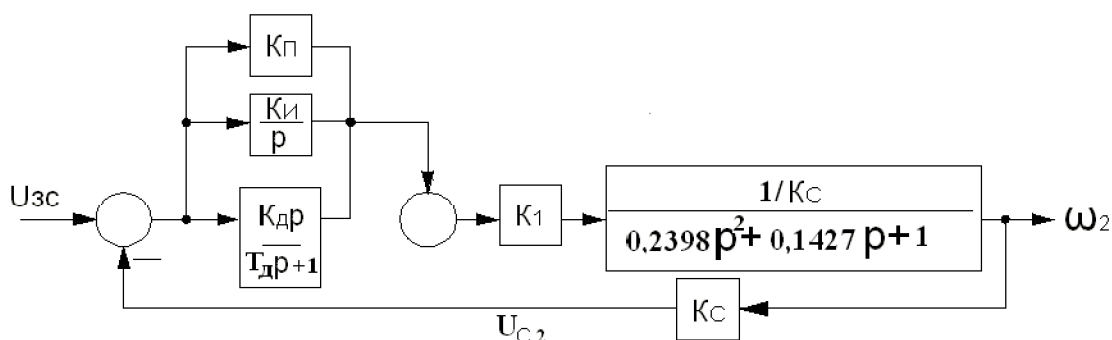


Рис. 4. Структурная схема системы с ПИД-регулятором

Для возможности синтеза оптимальных параметров ПИД-регулятора методом параметрической оптимизации в схему введен пропорциональный усилитель  $K_1$ . Коэффициент  $K_1$  определяется в результате приведения реального характеристического полинома замкнутой системы к стандартному, соответствующему модели Баттерворта. Компенсируем характеристический полином  $\Pi(p) = 0,2398p^2 + 0,1427p + 1$  числителем передаточной функции регулятора

$$W_p(p) = \frac{(K_{\Pi}T_d + K_d)p^2 + (K_{\text{И}}T_d + K_{\Pi})p + K_{\text{И}}}{p(T_d p + 1)},$$

из полученных равенств

$$\begin{cases} K_{\text{И}} = 1; \\ K_{\Pi}T_d + K_d = 0,2398; \\ K_{\text{И}}T_d + K_{\Pi} = 0,1427 \end{cases}$$

находим коэффициенты регулятора при:  $T_d = 0,05$  с;  $K_{\Pi} = 0,0927$ ;  $K_d = 0,2351$ .

Тогда передаточная функция замкнутой системы будет иметь вид:

$$W_3(p) = \frac{U_{C2}(p)}{U_{3C}(p)} = \frac{K_1}{T_d p^2 + p + K_1} = \frac{K_1 \setminus T_d}{p^2 + \frac{1}{T_d} p + \frac{K_1}{T_d}}, \quad (7)$$

и согласно модели Баттерворта должно быть соблюдено равенство

$$p^2 + \frac{1}{T_d} p + \frac{K_1}{T_d} = p^2 + \sqrt{2}q_0 p + q_0^2,$$

откуда



3. Куо Б. Теория и проектирование цифровых систем управления / Куо Б. – М.: Машиностроение, 1986. – 448 с.

4. Чермалых В.М. Идентификация параметров на основе Z-преобразования и оптимизации управления электромеханическими комплексами с упругими звеньями / В. М. Чермалых, А. В. Чермалых, И. Я. Майданский // Промэлектро. – 2007. – № 5. – С. 6–11.