

УДК 681.515

В. М. Чермалых, д-р техн. наук,
А. В. Босак,

ПОЗИЦИОННОЕ УПРАВЛЕНИЕ МНОГОСВЯЗНОЙ ЭЛЕКТРОМЕХАНИЧЕСКОЙ СИСТЕМОЙ С АДАПТИВНЫМ ФАЗЗИ-РЕГУЛЯТОРОМ

***Аннотация.** Рассмотрена многосвязная система управления позиционным электроприводом с упругим звеном, содержащая четыре контура регулирования: тока с ПИ - регулятором, скорости с П – регулятором, упругого момента с ПИД – регулятором и положения с фаззи-регулятором (ФР). Контроль упругого момента осуществлен по току и производной скорости по времени. Показано, что предложенная система управления обеспечивает перемещение рабочего органа по заданному режиму без колебаний.*

В. М. Чермалых , д-р техн. наук, проф., ,
А. В. Босак

ПОЗИЦІЙНЕ КЕРУВАННЯ МНОГОСВЯЗНОЮ ЕЛЕКТРОМЕХАНІЧНОЮ СИСТЕМОЮ З АДАПТИВНИМ ФАЗІ-РЕГУЛЯТОРОМ

***Анотація.** Розглянуто багатозв'язкова система управління позиційним електроприводом з пружною ланкою, що містить чотири контури регулювання: струму з ПІ - регулятором, швидкості з П – регулятором, пружного моменту з ПІД – регулятором і положення з фаззі-регулятором (ФР). Контроль пружного моменту здійснено за струмом і похідною швидкості. Показано, що запропонована система управління забезпечує переміщення робочого органу за заданим режимом без коливань.*

V. M. Chermalyh, ScD ,
A. V. Bosak,

POSITION CONTROL OF A MULTIPLY ELECTROMECHANICAL SYSTEM WITH ADAPTIVE FUZZY CONTROLLER

***Abstract.** Multi connection control system of a positioning electro mechanic is considered with a resilient link, containing four contours of adjusting: current with PI - regulator, speeds with P – by the regulator of resilient moment with PID – by a regulator and positions with a fuzzy-regulator (FR). Control of resilient moment is carried out on a current and derivative speed at times. It shows that offered control system provides moving of working organ to the set mode without vibrations.*

Значительная часть подъемно-транспортных машин и установок содержит упругие механические звенья, обуславливающие возникновение низкочастотных колебаний рабочих органов, движущихся под действием упругих моментов (усилий). Создание многосвязных позиционных систем управления такими механизмами представляет определенные трудности из-за сложности непосредственного контроля упругих моментов. В этой связи представляет практический интерес использование косвенного определения упругих моментов и

по ним синтезировать фаззи - регуляторы (контроллеры), обеспечивающие желаемые переходные процессы.

В данной работе рассмотрена четырехконтурная система управления позиционным приводом постоянного тока ПП-Д, содержащая контуры тока с ПИ-регулятором, скорости с П - регулятором, упругого момента с ПИД – регулятором, а также контур положения с фаззи-регулятором (ФР). Механическая часть представлена двухмассовой системой с идеализированной упругой связью. На рис.1 представлена Simulink – модель этой системы [1].

© Чермалых В.М., Босак А.В., , 2011

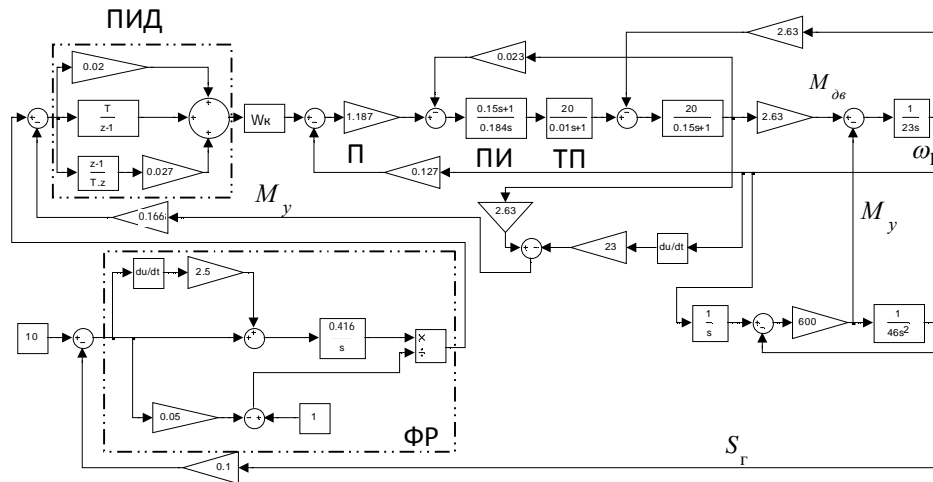


Рис. 1. Модель четырехконтурной системы управления позиционным электроприводом с упругой механической связью в системе Simulink

Контроль упругого момента M_y реализован с использованием зависимости $\dot{I}_{\dot{a}\dot{a}} - \dot{I}_{\dot{o}} = J_1 p \omega_1$:

$$\dot{I}_{\dot{o}} = i_y \dot{n}_a - J_1 \frac{d\omega_1}{dt}, \quad (1)$$

где $\dot{I}_{\dot{a}\dot{a}}$ – движущий момент; $\dot{I}_{\dot{o}}$ – момент, возникающий в упругом звене; c_o – коэффициент пропорциональности момента (ЭДС); ω_1 – частота вращения двигателя.

Контур скорости соответствует обычной системе подчиненного регулирования. Для определения регулятора момента найдена зависимость $\dot{I}_{\dot{o}}$ от входного ступенчатого сигнала заданной скорости $U_{c.c.}$. В результате получена переходная характеристика $\dot{I}_{\dot{o}}(t)$ (график 1 рис.2), по которой с использованием дискретной аппроксимации [2] получена идентифицированная характеристика 2, ей для при принятых исходных параметров основной системы соответствует передаточная функция

$$W_{1y}(p) = \frac{300p}{(3p+1)(0.027p+0.02p+1)}. \quad (2)$$

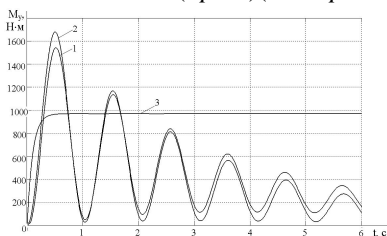


Рис.2. Графики изменения упругого момента M_y при ступенчатом входном сигнале контуров скорости и момента: 1,2 – соответственно реальный и идентифицированный на основе дискретной аппроксимации графики $M_y(t)$ при ступенчатом входном сигнале контура скорости; 3 – изменение момента M_y при ступенчатом входном сигнале контура момента

По колебательной составляющей функции (2) выбран ПИД-регулятор, компенсирующий полином

второго порядка знаменателя. Параметры регулятора представлены на рис. 1 в дискретной форме. Кривая 3 на рис.2 иллюстрирует изменение момента M_y при использовании ПИД-регулятора.

Для определения оптимального коэффициента обратной связи по моменту M_y использована параметрическая оптимизация согласно модели Баттерворта [4]. По параметрам ПИД-регулятора в непрерывной форме с учетом компенсирующего звена $W_k(p) = 0,1 \cdot (3p+1)/(0,1p+1) \cdot \delta$ определена передаточная функция замкнутого контура момента

$$W_{2y}(p) = \frac{300}{p^2 + 10p + 300 \cdot K_{f.l}}, \quad (3)$$

где $\hat{E}_{f.l}$ – коэффициент обратной связи по моменту. Для нахождения коэффициента $K_{O.M}$ приравняем знаменатель (3) стандартному полиному модели Баттерворта второго порядка:

$$p^2 + 10p + 300 \cdot K_{f.l} = p^2 + 1.41q_0p + q_0^2, \text{ откуда } q_0 = \frac{10}{1.41} = 7.1; q_0^2 = 300 \cdot K_{f.l} = 50; K_{O.M} = 0.166.$$

Учитывая, что в процессе эксплуатации системы могут изменяться параметры, в качестве регулятора положения принят адаптивный фаззи-регулятор [3] с передаточной функцией

$$W_{D.I.}(\delta) = \frac{U_{\dot{a}\dot{o}}(\delta)}{U_{\dot{a}\dot{o}}(\delta)} = \frac{\dot{I}(\delta)}{L - K_e |U_{\dot{a}\dot{o}}|}, \quad (4)$$

где $U_{\dot{a}\dot{o}}$ равно разности между заданным и действительным положениями рабочего органа; L – максимальная ошибка по положению; K_e – весовой коэффициент; $H(p)$ – передаточная функция регулятора положения без нечеткой коррекции коэффициента передачи.

Структура данного фаззи-регулятора является наиболее простой. В общем случае он имеет два нечетких входа – ошибку регулирования положения $e(nT)$ и ее производную (скорость) $r(nT)$. После

масштабирования входы в дискретной форме имеют вид:

$$K_e e(nT) = K_e (U_{I,\zeta}(nT) - U_{I,\dot{a}}(nT));$$

$K_r r(nT) = K_r (U_{C,\zeta}(nT) - U_{C,\dot{a}}(nT))$, где K_e и K_r – весовые коэффициенты; $U_{I,\zeta}(nT)$, $U_{C,\zeta}(nT)$ и $U_{I,\dot{a}}(nT)$, $U_{C,\dot{a}}(nT)$ – соответственно сигналы заданных и действительных значений положения и скорости.

Масштабированные ошибки представляют нечеткие множества с функциями принадлежности μ , показанными на рис.3,а.

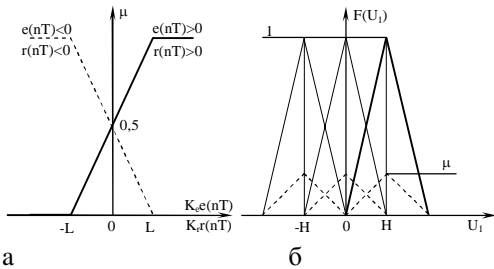


Рис.3. Функции принадлежности входного (а) и выходного (б) сигналов фаззи-регулятора

Для области значений $e(nT) > 0$ и $e(nT) < 0$ функции принадлежности соответственно равны $\mu_e^+ = (L + K_e e(nT)) / 2L$; $\mu_e^- = (L - K_e e(nT)) / 2L$. (5)

Аналогично для $r(nT) > 0$, $r(nT) < 0$:

$$\mu_r^+ = (L + K_r r(nT)) / 2L; \mu_r^- = (L - K_r r(nT)) / 2L. (6)$$

Функции принадлежности выхода регулятора U_1 представлены в виде трех равнобедренных треугольников (рис.3,б). H – координата центра тяжести треугольников.

Для дефаззификации выходного сигнала U_1 использован гравитационный метод, согласно которому сигнал U_1 пропорционален координате центра тяжести всех активных площадей $F(U_1)$, выделенных штриховыми линиями.

В результате оказывается, что выходной сигнал $U_1(nT) = \beta (K_e e(nT) + K_r r(nT))$, (7)

где $\beta = \frac{0,5 \cdot \dot{I}}{L_1 - K_e |e(nT)|}$ – переменный, зависящий от ошибки e , коэффициент передачи регулятора; $L_1 = 2L$.

Обычно на вход ФР подается не только сигнал ошибки по положению, но и ее производная. Поэтому в позиционных системах управления входом ФР будут ошибки по положению и скорости.

Для определения значения $H(p)$ рассмотрена замкнутая по положению система с коэффициентом обратной связи 0,1, состоящая из регулятора положения $H(p) = \hat{E}_f / \delta$ и замкнутого контура момента,

$$W_{I,\zeta}(\delta) = \frac{300 \cdot \hat{E}_f}{\delta^3 + 10\delta^2 + 50\delta + 300 \cdot 0,1 \cdot \hat{E}_f}. (8)$$

Приравняем знаменатель (8) стандартному полиному Баттерворта 3-го порядка:

$$p^3 + 10p^2 + 50p + 300 \cdot 0,1 \cdot K_H = p^3 + 2q_0 p^2 + 2q_0^2 p + q_0^3,$$

откуда $q_0 = 5$; $\hat{E}_f = 4.16$.

График изменения положения $S_{II}(t)$ и момента $M_y(t)$ при $U_{3,II} = 10$ представлены на рис.4. (Для наглядности по оси ординат приняты разные масштабы).

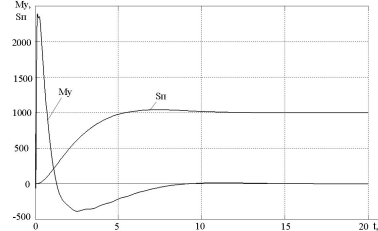


Рис.4. Графики изменения момента M_y и перемещения рабочего органа S_{II} системы с ПИД-регулятором момента и ФР положения

Выполненные исследования показали, что использование регулятора упругого момента и ФР обеспечивает реализацию заданных режимов изменения положения рабочего органа позиционного электропривода без колебаний.

Список использованной литературы

1. Дьяконов В. Simulink 4. Специальный справочник / В. Дьяконов – СПб.: Питер, 2002. – 528 с.
2. Чермалых В.М. Дискретная аппроксимация методом z – преобразования колебательных переходных характеристик электромеханических систем / В.М. Чермалых, В.В. Кузнецов, И.Я. Майданский // Вісн. Кременчужького держ. політехн. ун-ту. – Кременчук: – 2005. – № 3/2005. – С.188-192.
3. Чермалых А.В. Система управления позиционным электроприводом с задающей моделью и фаззи-контроллером / А.В. Чермалых, В.В. Кузнецов, С.Л. Прядко // Сб. науч. тр. Нац. горной акад. Украины. – Днепропетровск: – 2001. – № 11. – С. 30-36.
4. Шаруда В.Г. Практикум з автоматичного управління. Навчальний посібник / В.Г. Шаруда – Дніпропетровськ: МГУ, 2002. – 414 с.

Получено 13.07.2011



Босак Алла Васильевна,
асистент каф. АУЕК
Нац. техн. ун-та Украины
«КПИ»,
г.Киев, пр. Победы, 37.
т.0507295067,
alla_koz@ukr.net



Чермалых
Валентин Михайлович,
д.т.н., проф. каф. АУЕК
Нац. техн. ун-та Украины
«КПИ», г.Киев, пр. Победы, 37.
т. 0677654814