

ОПТИМИЗАЦИЯ НЕЛИНЕЙНОЙ ПОЗИЦИОННОЙ ЭЛЕКТРОМЕХАНИЧЕСКОЙ СИСТЕМЫ НА ОСНОВЕ ФАЗЗИ-КОНТРОЛЛЕРА Takagi-Sugeno

Введение. Растущие требования к качеству технологических процессов обработки деталей на механообрабатывающих станках ставят задачи разработки новых, усовершенствованных систем управления электроприводами. Повышение качества и производительности технологических процессов возможно на основе разработки интеллектуальных адаптивных систем управления [1].

Постановка задачи исследования. Целью работы является оптимизация нелинейной системы управления позиционного электроприводом на основе фаззи-контроллера Takagi-Sugeno.

Материалы исследования. Структурная схема позиционной электромеханической системы (ЭМС), в которой учтено вязкое трение, жесткость упругой передачи, приведена на рис. 1. ЭМС описывается системой дифференциальных уравнений (1) в пространстве состояния, соответствующего приведенной структуре.

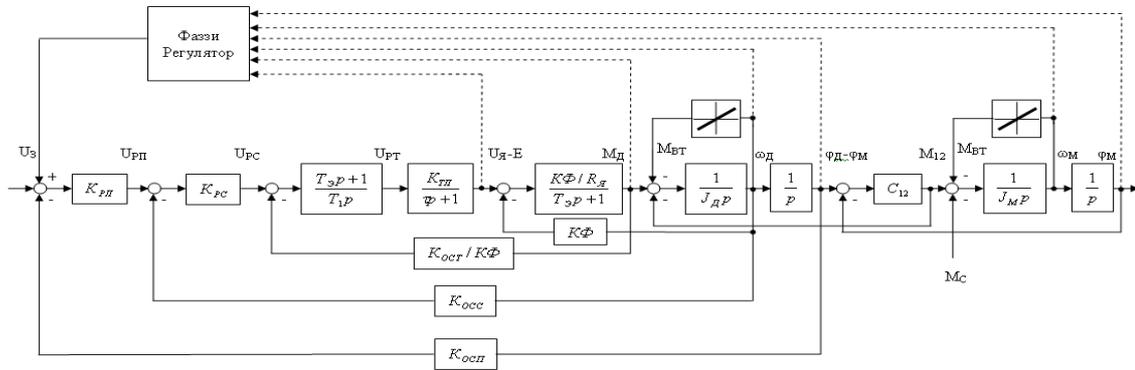


Рис. 1. Структурная схема позиционной ЭМС

$$\begin{cases}
 \frac{dx_1(t)}{dt} = -\frac{1}{\tau} x_1(t) - K_1 x_2(t) - K_2 x_3(t) - K_3 x_4(t) + K_4 u_3(t); \\
 \frac{dx_2(t)}{dt} = \frac{1}{L_я} x_1(t) - \frac{R_я}{L_я} x_2(t) - \frac{K\Phi}{L_я} x_3(t); \\
 \frac{dx_3(t)}{dt} = \frac{K\Phi}{J_д} x_2(t) - K_{вт} x_3(t) x_3(t) - \frac{C_{12}}{J_д} x_4(t) + \frac{C_{12}}{J_д} x_6(t); \\
 \frac{dx_4(t)}{dt} = x_3(t); \\
 \frac{dx_5(t)}{dt} = \frac{C_{12}}{J_м} x_4(t) - K_{вт} x_5(t) x_5(t) - \frac{C_{12}}{J_м} x_6(t) - M_c(t); \\
 \frac{dx_6(t)}{dt} = x_5(t); \\
 x_1(t) = U_я(t), x_2(t) = I_я(t), x_3(t) = \omega_д(t), x_4(t) = \varphi_д(t), x_5(t) = \omega_м(t), x_6(t) = \varphi_м(t); \\
 K_1 = \frac{K_{ТП} K_{осп} \left(K_{РТ} + \frac{1}{T_1} \right)}{\tau}, K_2 = \frac{K_{ТП} K_{осп} K_{РС} \left(K_{РТ} + \frac{1}{T_1} \right)}{\tau}, K_3 = \frac{K_{ТП} K_{осп} K_{РП} K_{РС} \left(K_{РТ} + \frac{1}{T_1} \right)}{\tau}, \\
 K_4 = \frac{K_{ТП} K_{РП} K_{РС} \left(K_{РТ} + \frac{1}{T_1} \right)}{\tau}.
 \end{cases} \tag{1}$$

Процедура разработки фаззи-регулятора (контроллера) начинается с представления данной нелинейной системы в виде Takagi-Sugeno фаззи-модели [2]. Эта модель описывается ЕСЛИ-ТОГДА правилами, которые представляют локальные линейные подсистемы, описывающие «вход-выход» связи нелинейной системы.

Полная фаззи-модель системы получается совмещением всех подсистем линейной системы на основе И-правил. Если дана пара входных векторов (x(t), u(t)), то полный выход фаззи-системы определится как

$$\dot{x}(t) = \frac{\sum_{i=1}^r w_i(z(t)) \cdot (A_i x(t) + B_i u(t))}{\sum_{i=1}^r w_i(z(t))} = \sum_{i=1}^r h_i(z(t)) \cdot (A_i x(t) + B_i u(t)), y(t) = \frac{\sum_{i=1}^r w_i(z(t)) \cdot C_i x(t)}{\sum_{i=1}^r w_i(z(t))} = \sum_{i=1}^r h_i(z(t)) \cdot C_i x(t), \quad (2)$$

где $z(t) = [z_1(t), z_2(t), \dots, z_p(t)]$, $w_i(z(t)) = \prod_{j=1}^p M_{ij}(z_j(t))$ – вес i -го правила, $h_i(z(t)) = \frac{w_i(z(t))}{\sum_{i=1}^r w_i(z(t))}$ –

нормированный вес i -го правила для всех значений t , $M_{ij}(z_j(t))$ – степень принадлежности $z_j(t)$ во множестве M_{ij} .
 Произведем замену переменных $x_i(t) = z_p(t)$. Для каждого $z_p(t)$ определяем max и min значения, т.е. диапазон изменения.

$$z_1(t) = M_{11}(z_1(t))a_1 + M_{12}(z_1(t))a_2; z_2(t) = M_{21}(z_2(t))b_1 + M_{22}(z_2(t))b_2; \quad (3)$$

$$M_{p1}(z_p(t)) + M_{p2}(z_p(t)) = 1; z_1(t) = x_3(t), z_2(t) = x_5(t).$$

На основе (1) полученных функций принадлежности и фаззи-правил составляется Takagi-Sugeno фаззи-модель для нелинейной ЭМС:

$$\dot{X}(t) = \sum_{i=1}^2 \sum_{j=1}^2 M_{1i}(z_1(t)) M_{2j}(z_2(t)) \left(\begin{bmatrix} -\frac{1}{\tau} & -K_1 & -K_2 & -K_3 & 0 & 0 \\ \frac{1}{L_{\text{я}}} & -\frac{R_{\text{я}}}{L_{\text{я}}} & -\frac{K\Phi}{L_{\text{я}}} & 0 & 0 & 0 \\ 0 & \frac{K\Phi}{J_{\text{д}}} & -K_{\text{вт}}|a_i| & -\frac{C_{12}}{J_{\text{д}}} & \frac{C_{12}}{J_{\text{д}}} & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & \frac{C_{12}}{J_{\text{м}}} & -K_{\text{вт}}|b_j| & -\frac{C_{12}}{J_{\text{м}}} \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 \end{bmatrix} X(t) + \begin{bmatrix} K_4 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \end{bmatrix} u(t) \right). \quad (4)$$

Полученная фаззи-модель ЭМС позиционного ЭП с применением подхода локального сектора нелинейности с точностью до 0,01% описывает исходную нелинейную ЭМС. Полученные правила фаззи-модели системы использованы для разработки фаззи-контроллера с применением процедуры параллельно распределенной компенсации.

Результаты моделирования в Matlab процесса обучения фаззи-контроллера Takagi-Sugeno оптимальному закону управления позиционной ЭМС с движением фм1 → фм2 → фм3 представлены на рис. 2.

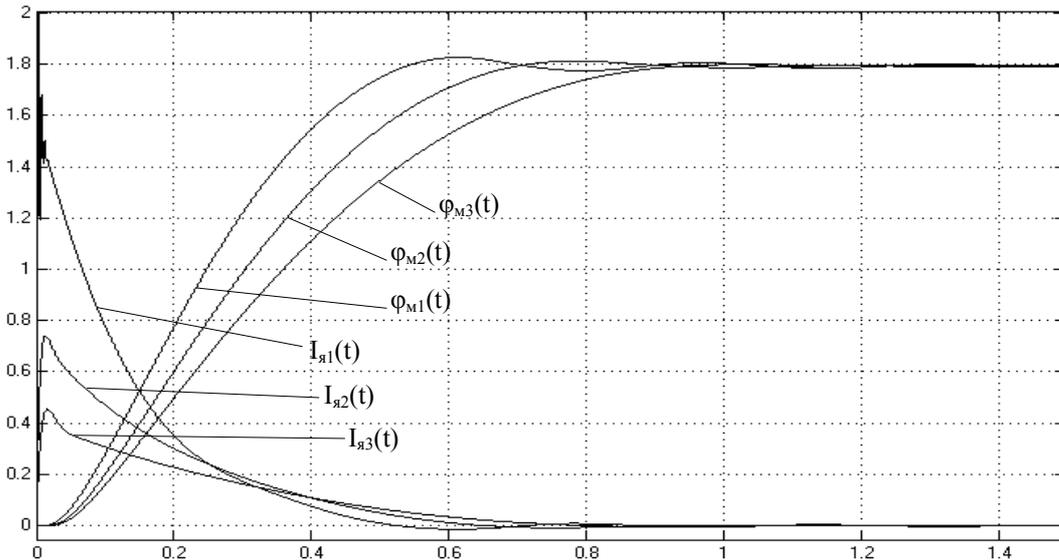


Рис. 2. Графики, иллюстрирующие обучение контроллера Takagi-Sugeno оптимальному закону управления
Выводы. Применение фаззи-контроллера Takagi-Sugeno позволяет оптимизировать и адаптировать нелинейную систему управления позиционного электропривода.

Литература.

1. Антонов В.Н., Терехов В.А., Тюкин И.Ю. Адаптивное управление в технических системах. – СПб.: Издательство С.-Петербургского университета, 2001. – 244 с.
2. K. Tanaka, Hua O. Wang, Fuzzy Control Systems: A LMI Approach, Wiley-Interscience Publication, 2001.