

**СИНТЕЗ ОПТИМАЛЬНОЙ ПО БЫСТРОДЕЙСТВИЮ  
СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ ПОЗИЦИОННОГО ЭЛЕКТРОПРИВОДА****Панкратов А.И., Побочий В.Г.**

Предложена система формирования оптимального сигнала управления, позволяющая добиться максимального быстродействия электромеханической системы. Про моделирована система электропривода с двигателем постоянного тока в пакетах MATLAB/Simulink и MathCAD. Представлены графики оптимального переходного процесса.

Запропонована система формування оптимального сигналу керування яка дозволяє досягнути максимальної швидкодії електромеханічної системи. Про модельована система електропривода з двигуном постійного струму в пакетах MATLAB/Simulink та MathCAD. Приведені графіки оптимального перехідного процесу.

The optimal signal control system which let the electromechanical system achieve the desired maximum of performance and can be represented in two way is presented. The electric-drive system with DC motor is modeled using MATLAB/Simulink and MathCAD. The diagrams of transient process of electromechanical system are depicted.

Панкратов А.И.

канд. техн. наук, доц. каф. АПП ДГМА

Побочий В.Г.

аспирант ДГМА  
[app@dgma.donetsk.ua](mailto:app@dgma.donetsk.ua)

УДК 681.51

Панкратов А.И, Побочий В.Г.

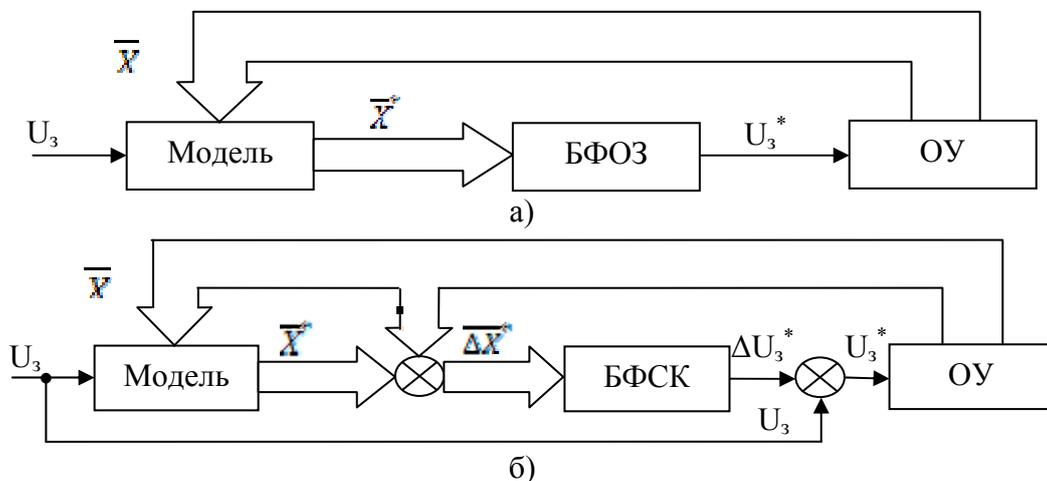
**СИНТЕЗ ОПТИМАЛЬНОЙ ПО БЫСТРОДЕЙСТВИЮ СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ ПОЗИЦИОННОГО ЭЛЕКТРОПРИВОДА**

Разработка новых, усовершенствованных систем автоматического управления электроприводов связана с растущими требованиями к качеству технологических процессов. Использование интеллектуальных адаптивных системы управления с применением нейро-фаззи технологий делают возможным оптимизацию электромеханических систем по критерию максимума быстродействия. Наряду с этим появляется возможность повышения производительности технологических процессов.

Основной принцип «автоматической оптимизации» заключается в отыскании и удержании системы управления на экстремуме ее статической характеристики. В основе принципа адаптации лежит вычисление оценок коэффициентов эталонного регулятора, обеспечивающего требуемое поведение объекта [1, 2]. Однако реализация такого регулятора в существенно динамических системах не всегда возможна.

Целью исследования является разработка адаптивной системы управления позволяющей формировать оптимальный сигнала управления для повышения быстродействия электромеханической системы без эталонного регулятора.

На рис. 1 представлена система оптимального управления в условиях неполной (текущей) информации об объекте.



а – система формирования оптимального задающего сигнала;  
 б – система формирования сигнала коррекции задания.

Рис. 1. Система оптимального управления

На рис. 1 обозначены: БФОЗ – блок формирования оптимального сигнала задания; БФСК – блок формирования сигнала коррекции задания; ОУ – объект управления;  $U_3$  – сигнал задания;  $\bar{X}$  – вектор переменных состояния ОУ;  $\bar{X}^*$  – вектор требуемых переменных состояния модели ОУ;  $U_3^*$  – оптимальный сигнал задания;  $\Delta \bar{X}$  – вектор разницы, переменных состояния модели и ОУ;  $\Delta U_3^*$  – сигнал коррекции задания.

Любой объект управления, описанный системой дифференциальных уравнений, может быть представлен в матрично-векторной форме:

$$\dot{\bar{X}} = A\bar{X} + Bu \tag{1}$$

где  $A$  – матрица коэффициентов состояния системы;

$B$  – вектор коэффициентов управления.

Тогда модель ОУ с требуемыми переменными состояния имеет вид:

$$\dot{\bar{X}}^* = A\bar{X}^* + Bu \tag{2}$$

где  $A^*$  – матрица оптимальных коэффициентов состояния системы;

$B$  – вектор коэффициентов управления.

Из (1) и (2) можно определить выражение для  $A$  в матрично-векторной форме:

$$A = \left( A^* \bar{X}^* + \bar{X} - \bar{X}^* \right) \left( \bar{X}^{-1} \right)^T \tag{3}$$

С помощью (3) производится оценка матрицы коэффициентов текущего состояния системы.

Имея значения требуемых переменных состояния объекта управления, используя (1) и (3) находим выражение для оптимального сигнала задания (рис.1, а) в матрично-векторной форме:

$$u_{opt} = \left( \dot{\bar{X}}^* - \left( A^* \bar{X}^* + \bar{X} - \bar{X}^* \right) \left( \bar{X}^{-1} \right)^T \bar{X}^* \right) B^{-1} \tag{4}$$

В случае формирования сигнала коррекции задания (рис.1, б), выражение для оптимального сигнала задания примет вид:

$$u_{opt} = \Delta u + u \tag{5}$$

$$\Delta u = \left( \Delta \dot{\bar{X}}^* - \left( A^* \bar{X}^* + \bar{X} - \bar{X}^* \right) \left( \bar{X}^{-1} \right)^T \Delta \bar{X}^* \right) B^{-1} \tag{6}$$

Подставляя (6) в (5) получаем:

$$u_{opt} = \left( \Delta \dot{\bar{X}}^* - \left( A^* \bar{X}^* + \bar{X} - \bar{X}^* \right) \left( \bar{X}^{-1} \right)^T \Delta \bar{X}^* \right) B^{-1} + u \tag{7}$$

Рассмотрим применение этого подхода для оптимизации привода постоянного тока (ППТ) механизма подачи механообрабатывающего станка. Запишем систему дифференциальных уравнений, описывающих ППТ, в матрично-векторной форме, в соответствии с (1), ( $M_c=0$ ):

$$\begin{bmatrix} \frac{dI(t)}{dt} \\ \frac{d\omega(t)}{dt} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} -\frac{R}{L} & -\frac{K\Phi}{L} \\ \frac{K\Phi}{J} & 0 \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} I(t) \\ \omega(t) \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} \frac{1}{L} \\ 0 \end{bmatrix} \cdot u(t) \tag{8}$$

где  $R$  – активное сопротивление цепи обмотки якоря двигателя, Ом;

$L$  – индуктивное сопротивление цепи обмотки якоря двигателя, Гн;

$J$  – момент инерции вала двигателя, кг·м<sup>2</sup>;

$K\Phi$  – конструктивный коэффициент и магнитный поток двигателя;

$u(t) = E_d$  – напряжение с выхода тиристорного преобразователя (ТП).

Необходимо определить оптимальный закон изменения напряжения на выходе тиристорного преобразователя ( $E_{d, opt}$ ) для получения оптимальных показателей работы двигателя (выполнения критериев максимума быстродействия и минимума колебательности).

Строим фаззи-нейро модель ППТ с использованием нечетких правил Takagi-Sugeno (рис. 2). Полученная фаззи-нейро Takagi-Sugeno модель ППТ составлена по четырем фаззи-правлам, нейро-сеть содержит четыре слоя: входной (распределительный), два скрытых

слоя, выходной слой. Фаззи-нейро модель обучена по модифицированному алгоритму обратного распределения ошибки, таким образом, чтобы получить  $\bar{X}$  и  $\bar{X}^*$  [3].

В соответствии с (4) получаем:

$$E_{d\_opt}(t) = \left( \begin{bmatrix} \dot{I}(t)^* \\ \dot{\omega}(t)^* \end{bmatrix} - \begin{bmatrix} a_{11} & a_{12} \\ a_{21} & a_{22} \end{bmatrix}^* \begin{bmatrix} I(t)^* \\ \omega(t)^* \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} \dot{I}(t) \\ \dot{\omega}(t) \end{bmatrix} - \begin{bmatrix} I(t) \\ \omega(t) \end{bmatrix} \right) \left( \begin{bmatrix} I(t) \\ \omega(t) \end{bmatrix}^{-1} \right)^T \begin{bmatrix} I(t)^* \\ \omega(t)^* \end{bmatrix} \begin{bmatrix} b_{11} \\ b_{12} \end{bmatrix}^{-1}$$

где  $\begin{bmatrix} a_{11} & a_{12} \\ a_{21} & a_{22} \end{bmatrix}^*$ ,  $\begin{bmatrix} b_{11} \\ b_{12} \end{bmatrix}$  – матрица оптимальных коэффициентов состояния ППТ и

вектор коэффициентов управления, определяемые фаззи-нейро моделью.

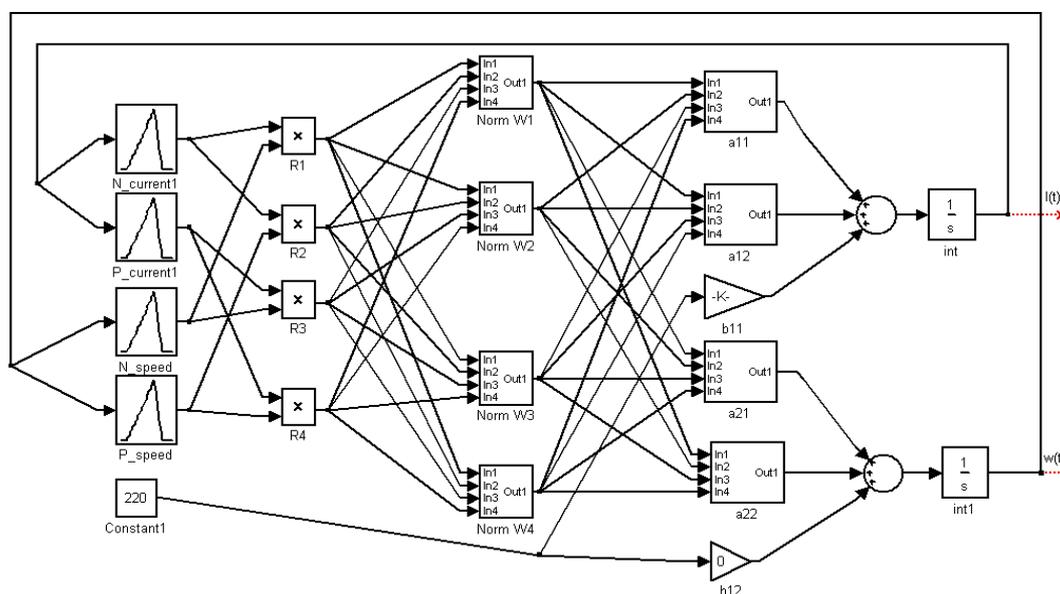


Рис. 2. Фаззи-нейро Takagi-Sugeno модель ППТ

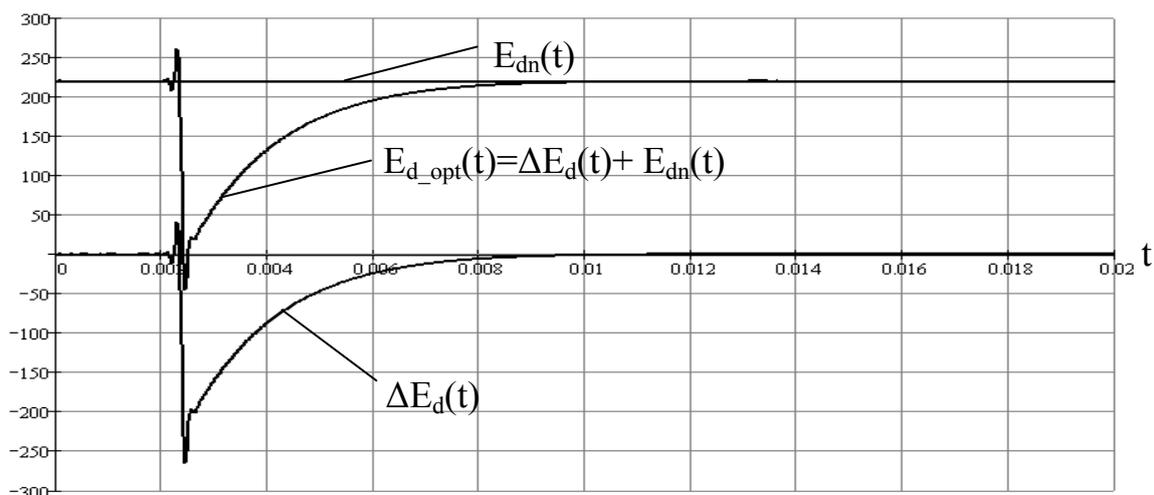
В соответствии с (7) получаем:

$$E_{d\_opt}(t) = \Delta E_d + E_{dn} = \left( \begin{bmatrix} \dot{I}(t)^* - \dot{I}(t) \\ \dot{\omega}(t)^* - \dot{\omega}(t) \end{bmatrix} - \begin{bmatrix} a_{11} & a_{12} \\ a_{21} & a_{22} \end{bmatrix}^* \begin{bmatrix} I(t)^* - I(t) \\ \omega(t)^* - \omega(t) \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} \dot{I}(t) \\ \dot{\omega}(t) \end{bmatrix} - \begin{bmatrix} I(t) \\ \omega(t) \end{bmatrix} \right) \left( \begin{bmatrix} I(t) \\ \omega(t) \end{bmatrix}^{-1} \right)^T \begin{bmatrix} I(t)^* - I(t) \\ \omega(t)^* - \omega(t) \end{bmatrix} \begin{bmatrix} b_{11} \\ b_{12} \end{bmatrix}^{-1} + E_{dn}$$

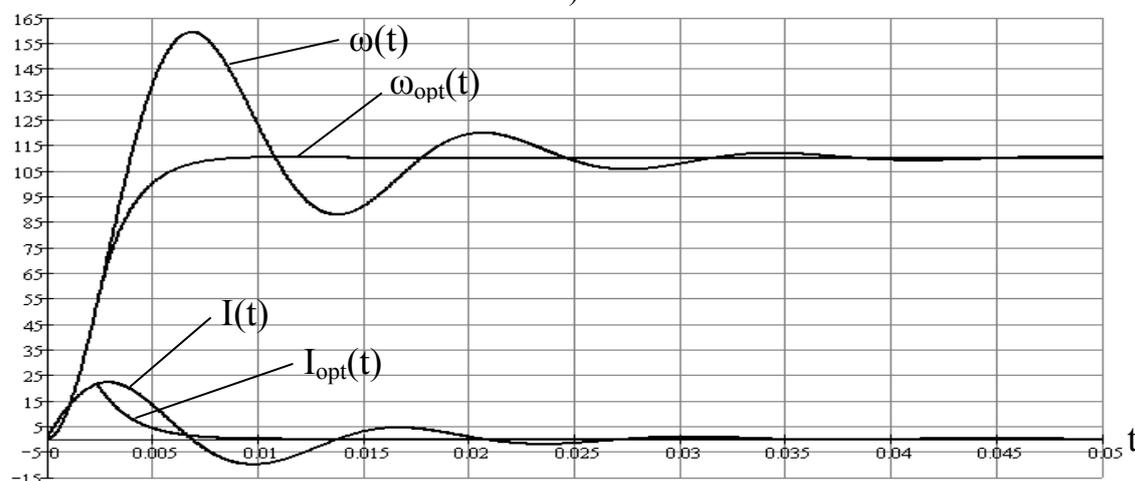
где  $\Delta E_d$  – сигнал коррекции;

$E_{dn}$  – номинальное напряжение на выходе ТП, потребляемое двигателем.

Система была промоделирована в пакете MATLAB/Simulink и MathCAD. Для моделирования был взят электропривод с двигателем постоянного тока типа 2ПН-100L,  $P_n=0,63$  кВт,  $U_n=220$  В,  $n_n= 1060$  об/мин. Результаты моделирования работы привода постоянного тока при номинальном сигнале задания и скорректированном сигнале задания представлены на рис. 3 (а, б).



а)



б)

а – график напряжения на выходе ТП; б – график пускового тока и скорости двигателя.

Рис. 3. Переходные процессы в ППТ

На графике (рис.3) показан оптимальный закон изменения напряжения на выходе ТП ( $E_{d\_opt}(t)$ ), при котором достигается максимальное быстродействие системы ( $\omega_{opt}(t)$ ,  $I_{opt}(t)$ ).

### ВЫВОДЫ

Предложенная система формирования оптимального сигнала управления позволяет добиться максимального быстродействия системы. Оптимизация динамических процессов в ППТ позволит улучшить технические показатели производственного процесса.

### ЛИТЕРАТУРА

1. Антонов В.Н. *Адаптивное управление в технических системах* / В.Н. Антонов, В.А.Терехов, И.Ю. Тюкин. – СПб., 2001. – 244 с.
2. Попович М.Г. *Теория автоматического управления* / М.Г. Попович, А.В. Ковальчук. - К.: Лебедь, 1997. - 544с.
3. Панкратов А.И. *Оптимизация нелинейной электромеханической системы на основе фаззи-контроллера Takagi-Sugeno* / А.И. Панкратов, В.Г. Побочий. *Проблемы автоматизированного электропривода. Теория и практика.* – Днепропетровск, 2007. – 606 с.