

СИНТЕЗ И ИССЛЕДОВАНИЕ РАБОТЫ ПОЗИЦИОННОЙ СИСТЕМЫ С ЛИНЕЙНЫМ АКТУАТОРОМ

В.А. Денисов¹, М.Н. Третьякова¹, О.А. Бородин¹, С.В. Макаров²

¹ Тольяттинский государственный университет, г. Тольятти

² ООО «СТРОКАТ», г. Тольятти

Рассмотрена позиционная система с линейным соленоидным актуатором и модальным управлением. Для придания системе инвариантных свойств в переходных режимах работы при неопределенности параметров силовой схемы и нагрузки с помощью программного расширения Control System Toolbox пакета MATLAB осуществлен синтез коэффициентов модального регулятора при различных видах характеристических полиномов замкнутой системы. Оценка показателей качества динамических характеристик полученной системы с различными коэффициентами модального регулятора выполнена путем математического моделирования режимов работы исследуемого электропривода в приложении Simulink. Полученные структура и методика синтеза системы управления с линейным соленоидным актуатором обеспечивают аperiodический характер переходного процесса передвижения рабочего механизма. Это дает возможность осуществлять малые перемещения различных объектов при неопределенности параметров силовых схем и нагрузки с высоким быстродействием и минимальной статической ошибкой.

Ключевые слова: позиционная система, модальное управление, линейный актуатор, модальный регулятор, малые перемещения, синтез регулятора, обратная связь по состоянию.

Введение

Осуществление линейных передвижений посредством вращательных электродвигателей целесообразно при значительных перемещениях и больших усилиях. Для обеспечения малых и сложных движений с высокими требованиями к качеству предпочтение отдается линейным двигателям (актуаторам), подвижная часть которых интегрируется с рабочими механизмами станков, манипуляторов и т. п. устройств [1, 2].

Применение позиционных систем с линейными актуаторами при изменении параметров силовой схемы нагрузки неизбежно ведет к трудностям формирования переходных характеристик заданного вида и проблеме демпфирования собственных колебаний [3–6].

Одним из эффективных методов придания позиционной системе инвариантных свойств является включение в ее состав модального регулятора. При модальном управлении желательно обеспечить замыкание системы по полному вектору состояний, порядок которого равен порядку системы, и выбрать физически измеряемые переменные состояний [7–13]. Кроме того, принцип модального управления предусматривает выполнение расчета матрицы регулятора и оптимизации ее параметров. Применяемые для этих целей алгоритмы вычислений могут быть различными. Один из актуальных подходов предполагает использование процедуры синтеза замкнутой системы в пространстве состояний с помощью программного обеспечения MATLAB [14].

В данной статье представлены результаты

синтеза позиционной системы электропривода с линейным соленоидным актуатором и модальным регулятором, обеспечивающим в замкнутой системе требуемые показатели качества. Новизна исследований состоит в использовании программного расширения пакета MATLAB применительно к оптимизации коэффициентов матрицы динамической обратной связи регулятора при неопределенности параметров актуатора и нелинейности нагрузки. Используемый подход дает возможность упростить процедуру синтеза замкнутой позиционной системы с модальным управлением. Моделирование и исследование электропривода с линейным актуатором позволяет проанализировать возможность его применения в качестве привода различных исполнительных механизмов при обработке малых перемещений.

Структура позиционной системы с линейным актуатором

В качестве линейного актуатора (рис. 1) используется соленоидный двигатель с возбуждением от постоянного магнита.

Катушка якоря двигателя жестко связана с рабочим механизмом. Ток якоря актуатора i_a создается преобразователем тока, использующим принцип широтно-импульсной модуляции, и измеряется датчиком тока BA . Величина линейного перемещения X_a измеряется цифровым датчиком BL . В качестве регулятора в системе используется микроконтроллер, который вычисляет скорость перемещения V_a и реализует для управления требуемую комбинацию обратных связей.

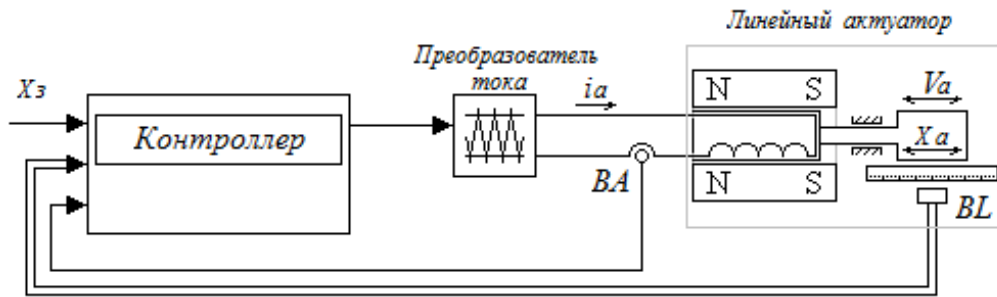


Рис. 1. Функциональная схема позиционной системы

Математическое описание позиционного электропривода

Математическое описание позиционного электропривода основывается на следующих допущениях и ограничениях: магнитная цепь актуатора не насыщена; потери в стали не учитываются; катушка якоря и рабочий механизм рассматриваются жесткой системой с ограниченным продольным перемещением.

С учетом принятых упрощений состояние разомкнутой системы электропривода характеризуется следующими уравнениями:

$$\dot{X}(t) = AX(t) + BU(t); Y(t) = CX(t), \quad (1)$$

где

$$X(t) = \begin{bmatrix} i \\ v \\ x \end{bmatrix}; A = \begin{bmatrix} -\frac{1}{\tau_{\Sigma}} & -\frac{1}{\tau_{\Sigma}} & 0 \\ -\frac{1}{\tau_M} & 0 & -\frac{K_1}{\tau_M} \\ 0 & K_2 & 0 \end{bmatrix};$$

$$B = \begin{bmatrix} \frac{1}{\tau_{\Sigma}} & 0 \\ 0 & \frac{1}{\tau_M} \\ 0 & 0 \end{bmatrix}; U(t) = \begin{bmatrix} u \\ q \end{bmatrix}; C = [0 \ 0 \ 1].$$

Входящие в выражения (1) относительные величины и базовые постоянные определяются следующим образом: $i = \frac{i_a}{I_a}$; $v = \frac{V_a}{V_0}$; $x = \frac{X_a}{b_m}$ – относительные величины тока, линейной скорости и перемещения катушки якоря; $q = \frac{Q_L R_a}{C_{MW} U_H}$ – относительная величина силы внешнего сопротивления; $I_a = \frac{U_H}{R_a}$; $V_0 = \frac{U_H}{C_{MW}}$ – базовые величины тока и линейной скорости катушки; $F_a = C_{MW} I_a$ – базовая величина усилия, развиваемого двигателем; U_H – номинальное напряжение; R_a и L_a – соответственно активное сопротивление и индук-

тивность катушки якоря; b_m – длина магнита; C_{MW} – коэффициент главной движущей силы; $\tau_{\Sigma} = \frac{L_a}{R_a}$; $\tau_M = m \frac{R_a}{C_{MW}^2}$ – соответственно электромагнитная и электромеханическая постоянные времени катушки якоря; m – масса катушки якоря и рабочего механизма; $K_1 = \frac{C_M b_m R_a}{C_{MW} U_H}$ и $K_2 = \frac{U_H}{C_{MW} b_m}$ – обобщенные коэффициенты; C_M – коэффициент реактивной силы.

Сила внешнего сопротивления движению зависит от трения скольжения. Выражение для ее расчета, полученное путем аппроксимации экспериментальных данных, имеет вид

$$q = q_0 + \alpha_1 v, \quad (2)$$

где $q_0 = 1$ и $\alpha_1 = 3,5 \cdot 10^{-3}$. В процессе пуска электропривода сила сопротивления возрастает за счет составляющей пропорциональной скорости движения.

Канал обратной связи замыкается при добавлении к сигналу задания внешнего перемещения $X_3(t)$ вектора комбинации переменных состояния:

$$U(t) = X_3(t) - KX(t), \quad (3)$$

где $K = [k_{01} \ k_{02} \ k_{03}]$ – матрица коэффициентов обратной связи.

После подстановки выражения (3) в формулу (1) получаем уравнение замкнутой системы. Если внешний сигнал $X_3(t) = 0$, то перемещение характеризуется равенством:

$$\dot{X}(t) = (A - BK)X(t), Y(t) = CX(t). \quad (4)$$

Характеристическое уравнение замкнутой системы приобретает вид:

$$\det[sI - (A - BK)] = 0, \quad (5)$$

где I – единичная диагональная матрица.

Для обеспечения требуемых показателей качества переходных характеристик исследуемого электропривода требуется выполнить синтез регулятора, описываемого выражением $U(t) = KX(t)$. При этом необходимо учесть, что распределение полюсов на комплексной плоскости характеристического уравнения замкнутой системы должно

соответствовать расположению полюсов стандартного характеристического полинома [7, 15–18].

Наиболее просто процедура синтеза регулятора системы автоматического управления, рассчитывающего коэффициенты матрицы K , реализуется в пакете расширения программы MATLAB – Control System Toolbox [14, 19, 20]. При этом в качестве средства проверки управляемости замкнутой системы используется функция $\text{ctrb}(A, B)$, а для расчета коэффициентов матрицы K – $\text{acker}(A, B, P2)$.

Синтез коэффициентов матрицы обратной связи K

При синтезе позиционной системы исходим из того, что, во-первых, параметры актуатора и коэффициенты, входящие в уравнение (1), определены экспериментальным путем и имеют значения: $F_H = 96$ Н; $m = 0,2$ кг; $U_H = 24$ В; $\tau_\Sigma = 0,025$ с; $\tau_M = 0,0002$ с; $K_1 = 0,685$; $K_2 = 8,4$; $C_M = 5597$. Во-вторых, к системе позиционного электропривода предъявляются следующие требования: максимальная величина линейного перемещения объекта $b_m = 0,04$ м, время отработки заданной величины перемещения $t_{\Pi} = 0,01$ с при отсутствии перерегулирования и статической ошибке, равной $\Delta = 2\%$.

Для проверки разрешимости задачи синтеза регулятора, как известно, требуется определить управляемость системы [15]. В нашем случае система является управляемой, если матрица управляемости $U = [B, AB, A^2B]$ имеет полный ранг. Функция $\text{ctrb}(A, B)$ формирует матрицу управляемости для модели в пространстве состояний.

Задание коэффициентов матриц A и B в про-

грамме Control System Toolbox пакета MATLAB выглядит следующим образом:

```
>> A = [-40 -40 0; 9700 0 -6654; 0 8,4 0];
=> B = [-40; 0; 0];
=> U = ctrb(A, B). U = 1,0e+007*
    -0,0000    0,0002    1,5456
         0      -0,0388    1,5520
         0         0      -0,3248
=> rank(U)
ans = 3
```

Результаты расчетов показывают, что ранг матрицы соответствует порядку системы. Следовательно, система управляема при использовании датчиков или наблюдателя.

Для получения заданного быстродействия при отсутствии перерегулирования в качестве стандартных полиномов выбираем многочлены $H_1(s)$ и $H_2(s)$ (см. таблицу), которые в отличие от биномиальных полиномов обеспечивают более высокое быстродействие, при этом по сравнению с полиномом Баттерворта переходные характеристики не имеют перерегулирования. Результаты расчета матрицы коэффициентов приведены в таблице.

Математическое моделирование позиционной системы

Для осуществления численного моделирования динамики синтезированной системы с учетом неопределенности параметров силовой схемы и нагрузки составлена математическая модель в программе Simulink пакета MATLAB (рис. 2).

В схеме модели блок Actuator реализует систему уравнений (1), элемент Input – заданное перемещение, звено Load имитирует нагрузку, опи-

Формирование характеристического полинома и расчет коэффициентов

Вид стандартного полинома	$H_1(s) = s^3 + 2,05\omega_0 s^2 + 2,39\omega_0^2 s + \omega_0^3$, согласно [8]	$H_2(s) = s^3 + 2,4\omega_0 s^2 + 2,6\omega_0^2 s + \omega_0^3$, согласно [2]
Время переходного процесса для стандартного полинома при установившейся ошибке $\Delta = 2\%$ и $\omega_0 = 1$	$\tau = 5$ с	$\tau = 6$ с
Собственная частота для заданного времени переходного процесса	$\omega_0 = \frac{\tau}{t_{\Pi}} = \frac{5}{0,01} = 500$ 1/с	$\omega_0 = \frac{\tau}{t_{\Pi}} = \frac{6}{0,01} = 600$ 1/с
Вычисление полюсов характеристического полинома замкнутой системы	$\Rightarrow \text{pole}(H_1)$ ans = 1,0e+002 * -3,4041 + 4,9729i -3,4041 - 4,9729i -3,4419	$\Rightarrow \text{pole}(H_2)$ ans = 1,0e+002 * -5,0447 + 4,9658i -5,0447 - 4,9658i -4,3107
Задание вектора желаемого расположения полюсов $P2$	$\gg P2 = 1,0e+002 *$ [-3,4041 + 4,9729i; -3,4041 - 4,9729i; -3,4419]	$\gg P2 = 1,0e+002 *$ [-5,0447 + 4,9658i; -5,0447 - 4,9658i; -4,3107]
Расчет коэффициентов матрицы K $\gg k1 = \text{acker}(A, B, P2)$	$k1 = 100 *$ [-0,2463 - 0,00396 - 0,2078]	$k1 = 100 *$ [-0,35 - 0,0126 - 0,2078]

сываемую выражением (2). В составе схемы имеется дополнительная структура – подсистема Pos.system2, предназначенная для получения сравнительных осциллограмм, отражающих изменения исследуемых параметров позиционной системы электропривода.

На рис. 3 и 4 представлены результаты исследований.

Из приведенных на рис. 3 кривых видно, что включение в систему регулирования матрицы обратных связей по состоянию обеспечивает требуемые показатели качества переходного процесса

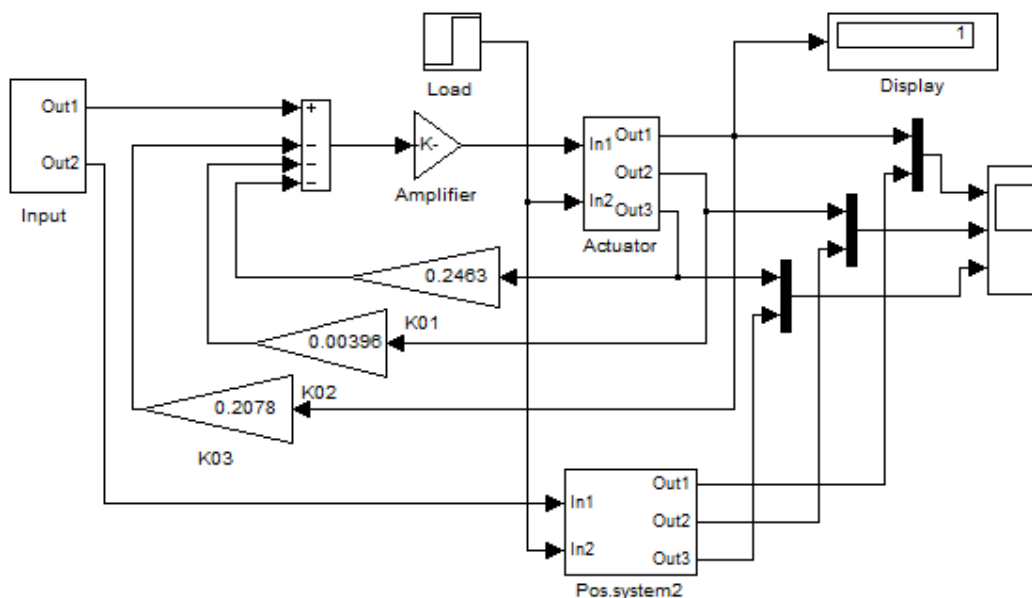


Рис. 2. Схема математической модели позиционного электропривода

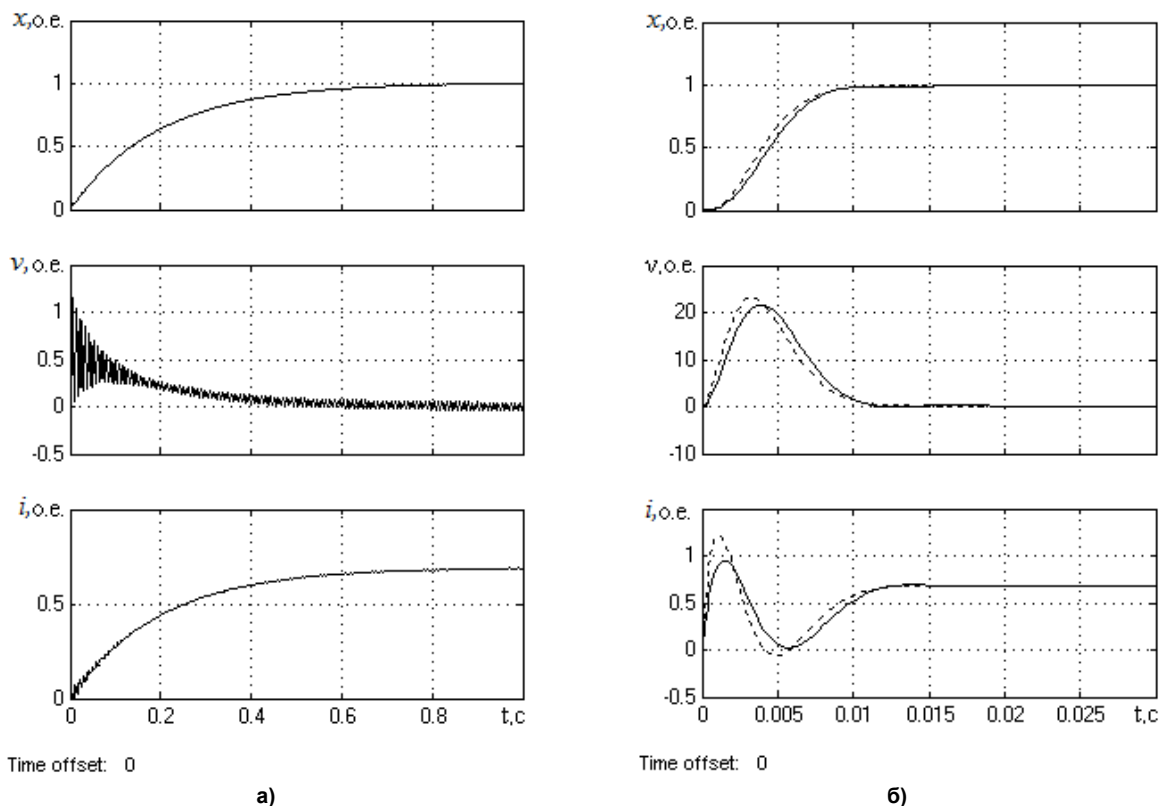


Рис. 3. Переходные характеристики позиционной системы при отработке заданного перемещения: а – в разомкнутой системе; б – в замкнутой системе (сплошная линия соответствует полиному $H_1(s)$, а пунктирная – полиному $H_2(s)$)

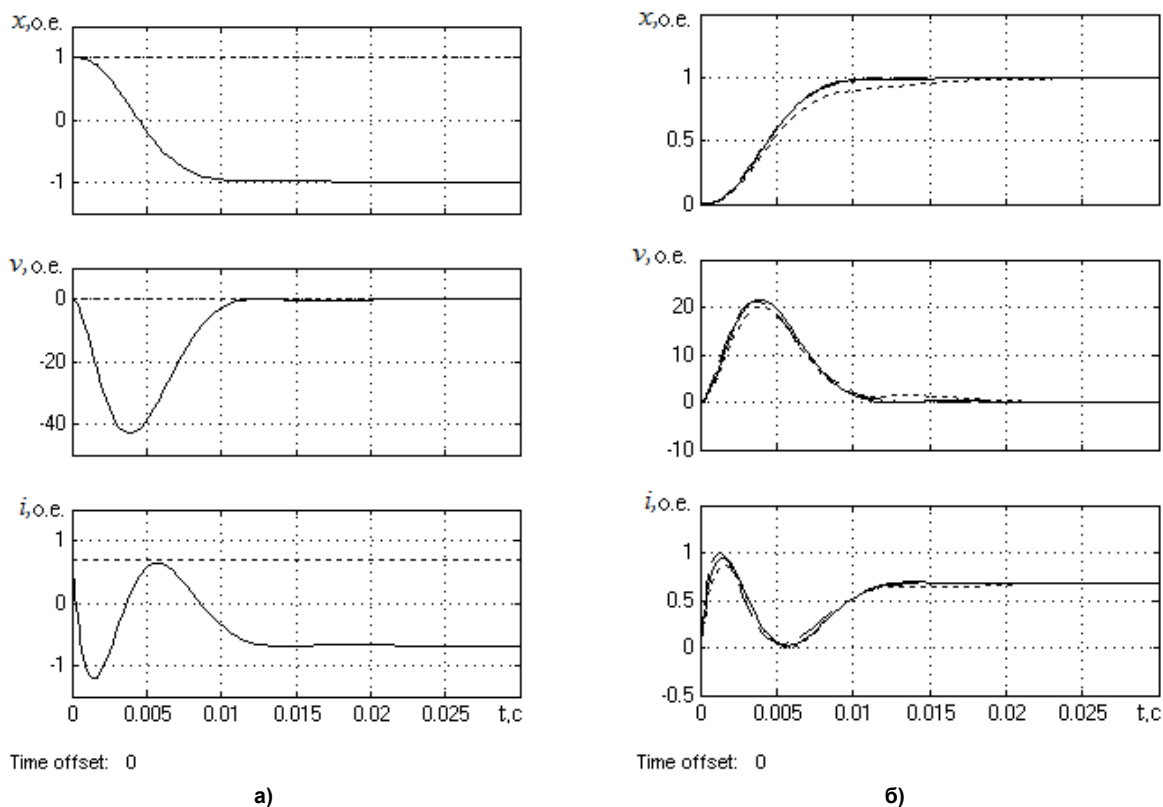


Рис. 4. Переходные характеристики позиционной системы при реверсе (а) и изменении параметров (б) (короткий пунктир соответствует изменению коэффициента усиления Amplifier, длинный пунктир – изменению нагрузки)

при обработке заданного перемещения и его реверсе. При этом наилучшие показатели качества переходного процесса обеспечивает распределение полюсов на основе стандартного полинома $H_1(s)$.

Осциллограммы рис. 4, а сняты при изменении знака заданного перемещения на обратный. Они характеризуют динамические свойства позиционной системы при реверсе электропривода. Графики рис. 4, б получены при уменьшении коэффициента усиления Amplifier и величины нагрузки на 10 %. Очевидно, что при указанных воздействиях кривые переходных характеристик (см. рис. 4, б) практически не изменяются, что подтверждает инвариантность замкнутой системы к изменению параметров силовой схемы и нагрузки.

Выводы

1. Предложены позиционная система электропривода с линейным соленоидным актуатором малых перемещений и методика синтеза модального регулятора с применением программного расширения Control System Toolbox пакета MATLAB, обеспечивающие аperiодический характер переходного процесса рабочего механизма с заданным высоким быстродействием.

2. Рассмотренная структура позиционного электропривода с линейным актуатором может быть использована для перемещения различных

рабочих механизмов при неопределенности параметров его силовой схемы и нагрузки, когда перемещение не превышает 0,04 м с точностью в 2 %.

Литература

1. Анненков, А.Н. Проектирование и технология изготовления микроэлектромеханических устройств / А.Н. Анненков, В.Я. Беспалов, А.И. Шиянов // *Электричество*. – 2012. – № 12. – С. 51–56.
2. Денисов, В.А. Управление линейным электроприводом малых перемещений / В.А. Денисов, А.В. Бочкарев // *Электротехника*. – 2011. – № 2. – С. 16–19.
3. Денисов, В.А. Системы позиционного электропривода с переменной структурой управления / В.А. Денисов. – М.: Из-во Спутник+, 2013 – 119 с.
4. Горячев, В.Ф. Идентификация объектов управления в режиме нормальной эксплуатации / В.Ф. Горячев, А.С. Гудим, Е.Н. Землянская // *Электротехника: сетевой электронный научный журнал*. – 2015. – Т. 2. – С. 47–49.
5. Поляк, Б.Т. Робастная устойчивость и управление / Б.Т. Поляк, П.С. Щербаков. – М.: Наука, 2002. – 303 с.
6. Dong, J. Robust static output feedback control synthesis for linear continuous systems with polytopic uncertainties / J. Dong, G.-H. Yang // *Automatica*. – 2013. – Vol. 49, iss. 6. – P. 1821–1829. DOI: 10.1016/j.automatica.2013.02.047

7. Бесекерский, В.А. Теория систем автоматического управления / В.А. Бесекерский, Е.П. Попов. – СПб.: Профессия, 2003. – 752 с.
8. Денисов, В.А. Теория автоматического управления / В.А. Денисов. – Тольятти: Тольятт. гос. ун-т, 2007. – С. 284.
9. Востриков, А.С. Теория автоматического регулирования / А.С. Востриков, Г.А. Французова. – М.: Высшая школа, 2004. – 365 с.
10. Методы классической и современной теории автоматического управления: учебник. В 3 т. Т. 2: Синтез регуляторов и теория оптимизации систем автоматического управления / под ред. Н.Е. Егунова. – М.: Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2000. – 736 с.
11. Воронов, А.А. Синтез минимальных модальных регуляторов действующих от измеряемых входа и выхода линейного объекта / А.А. Воронов // Автоматика и телемеханика. – 1993. – № 2. – С. 34–51.
12. Воронов, А.А. Устойчивость, управляемость, наблюдаемость / А.А. Воронов. – М.: Наука, 1979. – 336 с.
13. Горвиц, А.М. Синтез систем с обратной связью / А.М. Горвиц. – М.: Советское радио, 1970. – 600 с.
14. Филлипс, Ч. Системы управления с обратной связью / Ч. Филлипс, Р. Харбор. – М.: Лаборатория Базовых Знаний, 2001. – 616 с.
15. Синтез систем автоматического управления методом модального управления / В.В. Григорьев, Н.В. Журавлева, Г.В. Лукьянов, К.А. Сергеев. – СПб.: СПбГУ ИТМО, 2007. – 143 с.
16. Анисимов, А.А. Особенности синтеза параметрически грубых систем модального управления с наблюдателями состояния / А.А. Анисимов, С.В. Тарарыкин // Известия Российской академии наук. Теория и системы управления. – 2012. – № 5. – С. 3–14.
17. Копылов, С.А. Синтез робастных модальных регуляторов для стабилизирующих систем автоматического управления / С.А. Копылов, В.В. Шаров // Известия высших учебных заведений. Проблемы энергетики. – 2010. – № 5–6. – С. 111–121.
18. Осина, А.В. Синтез систем модального управления с идентификаторами / А.В. Осина, Т.В. Ягодкина // Вестник Московского энергетического института. – 2013. – № 2. – С. 109–114.
19. Перельмутер, В.М. Пакеты расширения MATLAB. Control System Toolbox и Robust Control Toolbox. – М.: СОЛОН-Пресс, 2008. – 224 с. – http://e.lanbook.com/books/element.php?pl1_id=13763.
20. Ощепков, А.Ю. Системы автоматического управления: теория, применение, моделирование в MATLAB / А.Ю. Ощепков. – СПб.: Лань. – 2013. – 208 с.

Денисов Владимир Андреевич, канд. техн. наук, доцент, доцент кафедры «Электроснабжение и электротехника», Тольяттинский государственный университет, г. Тольятти; v.denisov@tltsu.ru.

Третьякова Марина Николаевна, канд. пед. наук, доцент кафедры «Электроснабжение и электротехника», Тольяттинский государственный университет, г. Тольятти; m.tretyakova@tltsu.ru.

Бородин Олег Александрович, аспирант кафедры «Электроснабжение и электротехника», Тольяттинский государственный университет, г. Тольятти; oleg.a-ch.1937@mail.ru.

Макаров Сергей Вячеславович, канд. техн. наук, технический директор, ООО «СТРОКАТ», г. Тольятти; s.v.makarov@ya.ru.

Поступила в редакцию 6 июня 2016 г.

DESIGN AND FUNCTIONAL TEST OF POSITIONAL SYSTEM WITH LINEAR ACTUATOR

V.A. Denisov¹, v.denisov@tltsu.ru,
M.N. Tret'yakova¹, m.tretyakova@tltsu.ru,
O.A. Borodin¹, oleg.a-ch.1937@mail.ru,
S.V. Makarov², s.v.makarov@ya.ru

¹ Togliatti State University, Togliatti, Russian Federation,

² LLC "STROKAT", Togliatti, Russian Federation

The paper considers a positional system with a linear actuator and modal control. The use of the software extensions of the MATLAB's Control System Toolbox enabled a synthesis of the factors of the modal regulator for different types of the characteristic polynomials of the closed-loop system. Dynamic characteristics of the obtained system with different factors of the modal controller were estimated in by means of a mathematical model of the studied actuator in the Simulink application. The resulting structure and method of synthesis of a control system with the linear solenoid actuator provide an aperiodic nature of transient process of the working gear travel. This enables small displacements of various objects at uncertain parameters of power circuits and loads with a fast response time and minimal static error.

Keywords: positional system, modal control, linear actuator, modal regulator, small displacements, regulator synthesis, condition feedback.

References

1. Annenkov A.N., Bespalov V.Ya., Shiyanov A.I. [Design and Fabrication of Microelectromechanical Devices]. *Electrical Technology Russia*, 2012, no. 12, pp. 51–56. (in Russ.)
2. Denisov V.A., Bochkarev A.V. [Control of Linear Actuator for Small Displacements]. *Russian Electrical Engineering*, 2011, no. 2. pp. 16–19. (in Russ.)
3. Denisov, V.A. [Systems of Positional Electric Drive with Variable Control Structure]. Moscow, Sputnik+ Publ., 2013. 119 p.
4. Goryachev V.F., Gudim A.S., Zemlyanskaya E.N. [Control Objects Identification in Normal Operating Mode]. *Elektrotehnika: setevoy ehlektronnyj nauchnyj zhurnal*, 2015, vol. 2, pp. 47–49. (in Russ.)
5. Polyak B.T., Shcherbakov P.S. [Robust Stability and Control]. Moscow, Nauka Publ., 2002. 303 p.
6. Dong, J., Yang, G.-N. Robust Static Output Feedback Control Synthesis for Linear Continuous Systems with Polytopic Uncertainties. *Automatica*, 2013, vol. 49, iss. 6, pp. 1821–1829. DOI: 10.1016/j.automatica.2013.02.047
7. Besekerskiy V.A., Popov E.P. [Theory of Automatic Control Systems]. Saint Petersburg, Professiya Publ., 2003. 752 p.
8. Denisov V.A. [Theory of Automatic Control]. Tolyatti, Tolyat. gos. un-t Publ., 2007. p. 284.
9. Vostrikov A.S., Francuzova G.A. [Theory of Automatic Control]. Moscow, Vysshaya shkola Publ., 2004. 365 p.
10. Egupova N.E. (Ed.) [Methods of Classical and Modern Theory of Automatic Control: the Textbook in 3 vol. Vol. 2. Moscow, MGTU im. N.E. Bauman Publ., 2000. 736 p.
11. Voronov A.A. [The Synthesis of Minimum Modal Regulators Acting by the Measured Input and Output Line Object]. *Avtomatika i telemekhanika*, 1993, no. 2, pp. 34–51. (in Russ.)
12. Voronov A.A. [Stability, Controllability, Observability]. Moscow, Nauka Publ., 1979. 336 p.
13. Gorvic A.M. [Synthesis of Feedback Systems]. Moscow, Sovetskoe radio Publ., 1970. 600 p.
14. Fillips Ch., Harbor R. [Control System with Feedback]. Moscow, Laboratoriya Bazovyh Znanij Publ., 2001. 616 p.
15. Grigoryev V.V., Zhuravleva N.V., Lukyanov G.V., Sergeev K.A. [Synthesis of Automatic Control Systems by the Method of Modal Control]. Saint Petersburg, ITMO Publ., 2007. 143p.
16. Anisimov A.A., Tararykin S.V. [Features of the Synthesis are Parametrically Coarse Modal Control Systems with State Observers]. *Izvestiya Rossijskoj akademii nauk. Teoriya i sistemy upravleniya*, 2012, no. 5. pp. 3–14. (in Russ.)
17. Kopylov S.A., Sharov V.V. [The Modal Synthesis of Robust Stabilizing Controllers for Systems of Automatic Control]. *Izvestiya vysshih uchebnyh zavedenij. Problemy ehnergetiki*, 2010, no. 5–6, pp. 111–121. (in Russ.)

18. Osina A.V., Yagodkina T.V. [The Synthesis of Modal Control Systems with Identifiers]. *Vestnik Moskovskogo energeticheskogo instituta*, 2013, no. 2, pp. 109–114. (in Russ.)

19. Perelmuter V.M. *Pakety rasshireniya MATLAB. Control System Toolbox i Robust Control Toolbox*. Moscow, SOLON-Press Publ. 2008. 224 p.

20. Oshchepkov A.Yu. [Automatic Control Systems: Theory, Application, Simulation in MATLAB]. Saint Petersburg, Lan' Publ, 2013. 208 p.

Received 6 June 2016

ОБРАЗЕЦ ЦИТИРОВАНИЯ

Синтез и исследование работы позиционной системы с линейным актуатором / В.А. Денисов, М.Н. Третьякова, О.А. Бородин, С.В. Макаров // Вестник ЮУрГУ. Серия «Энергетика». – 2016. – Т. 16, № 2. – С. 90–97. DOI: 10.14529/power160212

FOR CITATION

Denisov V.A., Tret'yakova M.N., Borodin O.A., Makarov S.V. Design and Functional Test of Positional System with Linear Actuator. *Bulletin of the South Ural State University. Ser. Power Engineering*, 2016, vol. 16, no. 2, pp. 90–97. (in Russ.) DOI: 10.14529/power160212