

УДК 62-83

СИНТЕЗ РЕЛЕЙНОГО РЕГУЛЯТОРА УСЛОВНО НЕУСТОЙЧИВОЙ ЭЛЕКТРОМЕХАНИЧЕСКОЙ СИСТЕМЫ ДЛЯ УСТРАНЕНИЯ СРЫВНЫХ ФРИКЦИОННЫХ АВТОКОЛЕБАНИЙ**Л. В. Асмолова**Национальный технический университет «Харьковский политехнический институт»
ул. Фрунзе, 21, г. Харьков, 61002, Украина. E-mail: asmolova@kpi.kharkiv.ua

Рассмотрена возможность использования релейных систем управления, работающих в скользком режиме в электромеханической системе при медленных перемещениях, для устранения срывных фрикционных автоколебаний (фрикционных автоколебаний 1-го рода, "stick-slip"). Параметры релейного регулятора синтезированы методом обратной задачи динамики. Показано, что применение релейной системы управления обеспечивает затухающий колебательный процесс выходной координаты при скоростях выше критической скорости скольжения.

Ключевые слова: электромеханическая система, срывные фрикционные автоколебания.**СИНТЕЗ РЕЛЕЙНОГО РЕГУЛЯТОРА УМОВНО НЕСТІЙКОЇ ЕЛЕКТРОМЕХАНІЧНОЇ СИСТЕМИ ДЛЯ УСУНЕННЯ ЗРИВНИХ ФРИКЦІЙНИХ АВТОКОЛИВАНЬ****Л. В. Асмолова**Національний технічний університет «Харківський політехнічний інститут»
вул. Фрунзе, 21, м. Харків, 61002, Україна. E-mail: asmolova@kpi.kharkiv.ua

Розглянуто можливість використання релейних систем управління, що працюють у ковзаючому режимі в електромеханічній системі при повільних переміщеннях, для усунення зривних фрикційних автоколивань (фрикційних автоколивань 1-го роду, "stick-slip"). Параметри релейного регулятора синтезовано методом зворотної задачі динаміки. Показано, що застосування релейної системи управління забезпечує затухаючий коливальний процес вихідної координати при швидкості вище критичної швидкості ковзання.

Ключові слова: електромеханічна система, зривні фрикційні автоколивання.

АКТУАЛЬНОСТЬ РАБОТЫ. К числу условно неустойчивых электромеханических систем (ЭМС), при определенных условиях, относятся системы с упругими связями, в которых могут возникать фрикционные автоколебания (АКФ):

– АКФ 2-го рода, обусловленные динамической неустойчивостью при работе на падающем участке характеристики трения. В этом случае автоколебания по форме близки к гармоническим [1];

– АКФ 1-го рода, или срывные АКФ, в зарубежной литературе называются stick-slip («прилипание–скольжение»), причиной которых являются скачки трения при переходе от состояния покоя к проскальзыванию. Автоколебательный процесс в этом случае характеризуется неравномерным скольжением с периодическими остановками. Данное явление приводит к снижению точности позиционирования, что крайне нежелательно в таких механизмах, как суппорты подачи металлообрабатывающих станков, в роботах и манипуляторах и т.д. [2].

Известно [3], что срывные АКФ возникают в разомкнутых системах электроприводов (ЭП) при скоростях проскальзывания, меньших, чем так называемые критические скорости $v_{кр}$, выше которых они отсутствуют. Устранение их за счет подчиненного регулирования и модального управления (МУ), подтвердивших свою эффективность при устранении АКФ 2-го рода, как показали выполненные нами исследования, оказались менее результативными [4, 5]. Кроме того, коэффициенты обратных связей при МУ имеют большие значения, что затрудняет их физическую реализацию. Поэтому решение проблемы подавления срывных АКФ в условно неустойчивых ЭМС представляется актуальной.

В [6] показано, что линейный элемент с бесконечно большим коэффициентом усиления и релейный, работающий в скользком режиме, эквивалентны. Таким образом, задача сводится к разработ-

ке релейных систем управления (PCY), работающих в скользком режиме, обеспечивающих подавление срывных АКФ условно неустойчивой ЭМС. Для решения поставленной задачи использовался метод обратной задачи динамики (ОЗД), который позволяет по заданному описанию объекта и требованиям к качеству системы управления определить динамику системы. А затем из найденного желаемого дифференциального уравнения, выражая старшую производную и подставляя ее вместо старшей производной в уравнение исследуемой системы, находить требуемый закон управления, который придает ей требуемые динамические свойства.

МАТЕРИАЛ И РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ.

В качестве объекта исследования рассматривается двухмассовая ЭМС с упругой кинематической связью, соответствующая ЭП подачи металлорежущего станка, работающего на малых частотах вращения шпинделя (рис. 1). Параметры ЭМС приведены к скорости электродвигателя (ЭД). С целью сокращения их числа, а также для достижения большей общности результатов исследований они представлены в безразмерном виде [7], однозначно определяющим характер динамического процесса. Ко второй массе в качестве нагрузки приложена нелинейная характеристика трения $M_{TP}^* = f(\omega_{ск}^*)$, линеаризованная на характерных участках [8]. Переход рабочей точки с одного участка на другой требует лишь изменения параметра, характеризующего её наклон. Такой подход позволяет сделать математическую модель универсальной. Кроме того, скорость проскальзывания характеристики трения $\omega_{ск}^*$ представляет собой скорость движения рабочего органа ω_2^* , в результате чего не требуется введения отдельной составляющей линейной скорости, как, например, в колесных механизмах.

Таким образом, замкнутая РСУ, описывающая скользящее движение, представляется дифференциальным уравнением $(n-1)$ -ой степени:

$$p^4 z_1 + d_4 p^3 z_1 + d_3 p^2 z_1 + d_2 p z_1 + d_1 z_1 = 0. \quad (12)$$

Понижение порядка на единицу относительно порядка объекта двухмассовой ЭМС на рис. 1 объясняется перемещением системы в скользящем режиме с фазового гиперпространства переменных состояния на гиперпространство скольжения.

В результате структурно-алгоритмических преобразований закон управления релейного регулятора скорости в фазовом пространстве регулируемой координаты и ее производных имеет вид:

$$x_{1\varphi} = -\text{sign} [d_1(z_1 - z_1^*) + d_2 p z_1 + d_3 p^2 z_1 + d_4 p^3 z_1 + d_5 p^4 z_1] \quad (13)$$

где z_1^* – значение желаемой скорости перемещения рабочего органа механизма подачи металлорежущего станка.

5. Расчет производных по выходной координате доставляет значительные трудности и необходимость физической реализации из-за невозможности получения «чистых» производных, поэтому на основании (13) выполняем переход в фазовое пространство исходных координат:

$$\omega_{\varphi i}^* = -\omega_{\varphi i \max}^* \text{sign} [l_1 \cdot (x_1 - x_1^*) + l_2 x_2 + l_3 x_3 + l_4 x_4 + l_5 x_5], \quad (14)$$

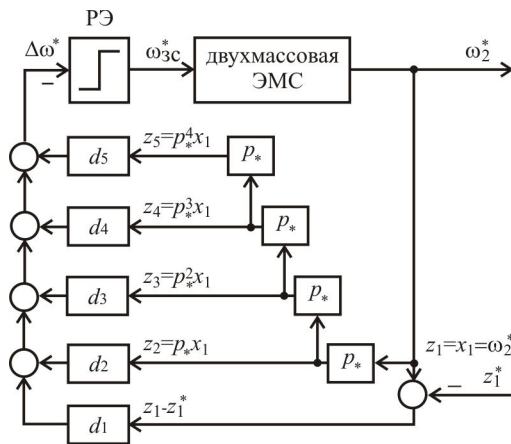


Рисунок 2 – Структурная схема двухмассовой ЭМС в пространстве канонических координат

где x_1^* – желаемая траектория управляемой координаты; l_1, l_2, l_3, l_4, l_5 – коэффициенты обратных связей, $[l_1 \ l_2 \ l_3 \ l_4 \ l_5] = \mathbf{dK}^{-1}$.

Структурная схема условно неустойчивой ЭМС с контуром скорости, замкнутого по закону управления (13), представлена на рис. 2, а (14) – на рис. 3.

Проверка работы синтезированных систем осуществляется путем компьютерного моделирования при следующих параметрах объекта: $\gamma = 1,026$, $T_{m1}^* = 0,708$, $\nu = 0,4$, $T_{\mu}^* = 0,296$, $\mu = 0,096$, $\Omega_{12} = 98,728 \text{ 1/c}$ [4, 5], среднегеометрическом корне $\omega_0^* = 300/\Omega_{12}$. На рис. 4,а приведены осциллограммы скорости ЭД ω_1^* и рабочего органа ω_2^* для разомкнутой системы (рис. 1) при скорости задания, равной критической $\omega_{3c}^* = 0,03$, соответствующей линейной критической скорости подачи $\nu_{3c} = 0,0042 \text{ м/с}$ (выше которой колебания не возникают, а ниже – имеют место), из которого видно, что движение носит затухающий колебательный характер.

На рис. 4,б приведены осциллограммы скорости ЭД ω_1^* и рабочего органа ω_2^* для РСУ, синтезированных в фазовом пространстве регулируемой координаты и ее производных, а на рис. 4,в – в фазовом пространстве исходных координат. Компьютерное моделирование показало:

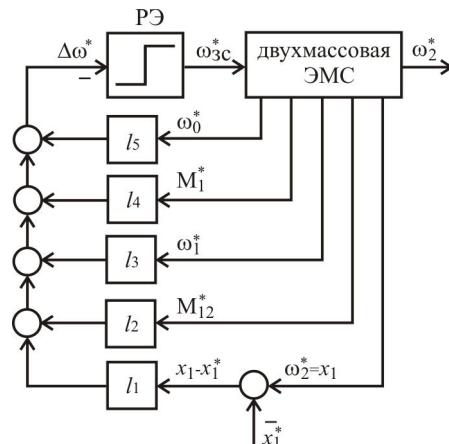
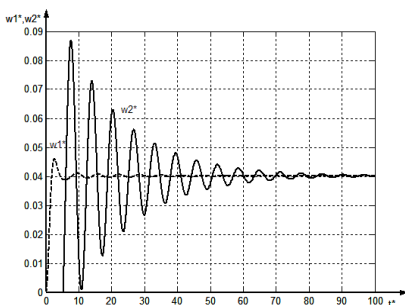
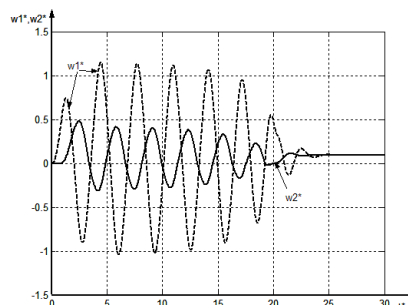


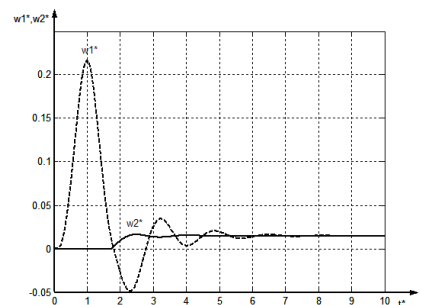
Рисунок 3 – Структурная схема двухмассовой ЭМС в пространстве исходных координат



а)



б)



в)

Рисунок 4 – Временные диаграммы скорости ЭД ω_1^* и рабочего органа ω_2^* разомкнутой (а) ЭМС и РСУ, синтезированных в пространстве канонических (б) и исходных (в) координат

- возможное применение РСУ условно неустойчивой ЭМС для устранения срывных АКФ;
- применение РСУ методом ОЗД как в фазовом пространстве регулируемой координаты и ее производных, так и в фазовом пространстве исходных координат, обеспечивают подавление срывных АКФ, однако при скоростях, превышающих критическую скорость разомкнутой системы в три раза, что в 1,2 раза меньше, чем в системах с МУ [4].

ВЫВОДЫ. Таким образом, данный вывод в большей степени носит теоретический характер, т.к. задачу синтеза РСУ условно неустойчивой ЭМС необходимо свести к поиску такой структуры, при которой будет обеспечиваться подавление срывных АКФ.

ЛИТЕРАТУРА

1. Штейнвольф Л.И. Качественная теория фрикционных автоколебаний в механических передачах / В кн. «Теория механизмов и машин». – Изд. ХГУ, 1966. – Вып. 1. – С. 76–88.
2. Дерягин Б.В., Пуш В.Э., Толстой Д.М. Теория скольжения твердых тел с периодическими остановками. (Фрикционные автоколебания 1-го рода) // ЖТФ. – 1956. – Вып. 6. – Т. 26. – С. 1329–1342.
3. Эльясберг М.Е. Расчет подачи металлорежущих станков на плавность и чувствительность перемещения (О разрывных колебаниях при трении) // Станки и инструменты. – 1951. – № 11. – С. 1–7; № 12. – С. 6–9.
4. Клепиков В.Б., Асмолова Л.В. К применению модального управления в электромеханических системах при «срывных» фрикционных автоколебаниях // Вісник Національного технічного університету «Харківський політехнічний інститут». – Харків: НТУ «ХПІ». – 2008. – Вип. 30. – С. 51–54.
5. Асмолова Л.В. Исследование срывных фрикционных автоколебаний в системе подчиненного регулирования при традиционных и нетрадиционных настройках регуляторов. – Вісник Кременчуцького державного політехнічного університету. – Кременчук: КДПУ. – 2005. – Вип. 3 (32). – С. 84–88.
6. Цыпкин Я.З. Релейные автоматические системы. – М.: Наука, 1974. – 576 с.
7. Ключев В.И. Теория электропривода. – М.: Энергоатомиздат, 1985. – 560 с.
8. Клепиков В.Б., Асмолова Л.В., Моисеенко П.Л. К моделированию фрикционных автоколебаний 1-го рода в электромеханических системах // Вісник Кременчуцького державного політехнічного університету. – Кременчук: КДПУ. – 2003. – Вип.2 (19). – Т. 1. – С. 180–184.
9. Зеленов А.Б., Шевченко І.С., Яблонь В.П., Нікітін М.Г. Синтез та цифрове моделювання систем управління електроприводів постійного струму з електромашинними, електромагнітними та імпульсними перетворювачами: навч. посіб. для студ. вузів. – Алчевськ: ДонДТУ, 2007. – 373 с.

SYNTHESIS OF A RELAY REGULATOR OF CONDITIONALLY UNSTABLE ELECTROMECHANICAL SYSTEM FOR ELIMINATION STICK-SLIP

L. Asmolova

National Technical University «Kharkiv Polytechnic Institute»

ul. Frunze, 21, Kharkov, 61002, Ukraine. E-mail: asmolova@kpi.kharkiv.ua

The opportunity of use of the relay control systems working in the sliding mode in electromechanical system at slow moving for elimination stick-slip. Parameters of a relay regulator are synthesized by a method of a return problem of dynamics. It is shown, that application of a relay control system provides fading oscillatory process of target coordinate critical speed of sliding.

Key words: electromechanical system, stick-slip.

REFERENCES

1. Shteynvol'f L.I. *Qualitative theory of fractional oscillations in mechanical gears* / In book «Theory of mechanisms and machines». – Publ. KhSU, 1966. – Iss. 1. – PP. 76–88. [in Russian]
2. Derjaguin B.V., Push V.E., Tolstoi D.M. The theory of sliding solids with periodic stop-workers. (stick-slip) // *ZhTF*. – 1956. – Iss. 6. – Vol. 26. – PP. 1329–1342. [in Russian]
3. Elyasberg M.E. Calculation of the supply of machine tools on the smoothness and the sensitivity of displacement (Discontinuous variations in friction) // *Machinery and Tools*. – 1951. – № 11. – PP. 1–7; № 12. – PP. 6–9. [in Russian]
4. Klepikov V.B., Asmolova L.V. By the application of modal control in electromechanical systems with stick-slip // *Bulletin of NTU «KhPI»*. – Kharkiv: NTU "KhPI" – 2008. – Iss. 30. – PP. 51–54. [in Russian]
5. Asmolova L.V. Research stick-slip in the system is subject to regulation with traditional and non-traditional settings of the regulators // *Bulletin of KDP*. – 2005. – Iss. 3 (32). – PP. 84–88. [in Russian]
6. Tsytkin J.Z. *The relay circuit of the system*. – М.: Nauka, 1974. – 576 p. [in Russian]
7. Klyuchev V.I. *The theory of the drive*. – М.: Energoatomizdat, 1985. – 560 p. [in Russian]
8. Klepikov V.B., Asmolova L.V., Moiseenko P.L. To the modeling stick-slip of electromechanical systems // *Bulletin of KDP*. – 2003. – Iss. 2 (19). – Vol. 1. – PP. 180–184. [in Russian]
9. Zelenov A.B., Shevchenko I.S., Yablon V.P., Nikitin N.G. *Synthesis and simulation of digital systems of electric DC electromashynnyy and electromagnetic pulse-they converters: teaching aids for students universities*. – Alchevsk: DonSTU, 2007. – 373 p. [in Ukrainian]

Стаття надійшла 13.07.2012.

Рекомендовано до друку
к.т.н., доц. Шамардіною В.Н.