

ОПТИМАЛЬНОЕ РЕЛЕЙНОЕ УПРАВЛЕНИЕ ДВУХМАССОВЫМ ЭЛЕКТРОМЕХАНИЧЕСКИМ ОБЪЕКТОМ С ФРИКЦИОННОЙ НАГРУЗКОЙ

Мотченко А.И., Щёлоков А.Г., Полилов Е.В.
Донбасский горно-металлургический институт
philalex1@mail.ru

In the given article the question of liquidation of the phenomenon of frictional auto-oscillations both securities of high static and dynamic indexes of quality is surveyed by application of relay control systems working in a sliding condition. It is shown, that the introduction of nonlinear proportional - integrated link from an error of regulation allows essentially to improve quality of transient processes. The results of computer simulation and basic calculations are submitted.

В различных отраслях промышленности существуют машины и механизмы, которые работают с отрицательным вязким трением (ОВТ) в нагрузке. К таким механизмам относятся валки прокатных станов, колесно-рельсовый транспорт, металлообрабатывающие станки и др. [1]. Известно, что реальная характеристика трения содержит падающий участок, который характеризуется снижением момента нагрузки при увеличении скорости проскальзывания. Доказано, что наличие падающего участка характеристики трения может привести к возникновению фрикционных автоколебаний (АКФ) [1]. Наличие АКФ приводит к ускоренному износу и аварийным разрушениям кинематических звеньев механизмов, ухудшению качества технологического процесса, снижению КПД и пр. Поэтому задача устранения явления АКФ является весьма важной и актуальной.

В настоящее время известны различные способы устранения АКФ, например, применение систем подчиненного регулирования с нетрадиционными настройками, систем модального управления, нейроконтроллеров, фаззи-регуляторов и др. [2, 3]. Все предлагаемые методы в той или иной степени устраняют АКФ, но всех их объединяет один недостаток – чувствительность системы управления к существенным координатным и параметрическим возмущениям.

Возникает задача синтеза такой системы управления, которая бы одновременно обеспечивала устранение АКФ, низкую чувствительность к параметрическим и координатным возмущениям, а также высокие статические и динамические показатели качества. Решение данной комплексной задачи представляется возможным путем применения релейной системы управления (РСУ), работающей в скользящем режиме. В качестве объекта управления принимаем двухмассовый электропривод (ЭП) постоянного тока с ОВТ.

Рассмотрим синтез алгоритма управления релейного регулятора скорости для данного объекта методом обратной задачи динамики (ОЗД). Возмущенное движение двухмассового ЭП описывается системой дифференциальных уравнений:

$$\begin{cases} p\eta_1 = a_{12}\eta_2; \\ p\eta_2 = a_{21}\eta_1 + a_{23}\eta_3; \\ p\eta_3 = a_{32}\eta_2 + a_{34}\eta_4; \\ p\eta_4 = a_{43}\eta_3 + a_{44}\eta_4 + a_{45}\eta_5; \\ p\eta_5 = a_{55}\eta_5 + b_5U, \end{cases} \quad (1)$$

где

$$\begin{aligned} a_{12} &= \frac{M_{ym}}{J_2 \cdot \omega_m}; & a_{21} &= -\frac{c_{12} \cdot \omega_m}{M_{ym}}; & a_{23} &= \frac{c_{12} \cdot \omega_m}{M_{ym}}; & a_{32} &= -\frac{M_{ym}}{J_1 \cdot \omega_m}; & a_{34} &= \frac{C\Phi_n \cdot I_m}{J_1 \cdot \omega_m}; \\ a_{43} &= -\frac{C\Phi_n \cdot \omega_m}{I_m \cdot T_3 \cdot R_3}; & a_{44} &= -\frac{1}{T_3}; & a_{45} &= \frac{E_{пм}}{I_m \cdot T_3 \cdot R_3}; & a_{55} &= -\frac{1}{T_\mu}; & b_5 &= \frac{k_n \cdot U_m}{T_\mu \cdot E_{пм}}; \\ \eta_1 &= \frac{\omega_2 - \omega_2^*}{\omega_m}; & \eta_2 &= \frac{M_y - M_y^*}{M_{ym}}; & \eta_3 &= \frac{\omega_1 - \omega_1^*}{\omega_m}; & \eta_4 &= \frac{I - I^*}{I_m}; & \eta_5 &= \frac{E_n - E_n^*}{E_{пм}}; & U &= \frac{U_y}{U_m}; \end{aligned}$$

$\omega_m, M_{ym}, I_m, E_{пм}, U_m$ – максимальные значения управляемых координат и управляющего напряжения;

$\omega_2, M_y, \omega_1, I, E_n, U_y$ – текущие значения управляемых координат и управляющего напряжения;

$\eta_1 - \eta_5$ – фазовые координаты возмущенного движения;

$\omega_2^*, M_y^*, \omega_1^*, I^*, E_n^*$ – заданные траектории невозмущенного движения.

Исходя из требований к качеству переходных процессов, зададимся нормированным полиномом четвертого порядка:

$$D_H(p) = p^4 + a_3 p^3 + a_2 p^2 + a_1 p + a_0. \quad (2)$$

Перейдем от нормированного полинома (2) к желаемому характеристическому полиному (по Баттерворту):

$$D(p) = p^4 + d_3 p^3 + d_2 p^2 + d_1 p + d_0,$$

где $d_3 = a_3 \omega_0$; $d_2 = a_2 \omega_0^2$; $d_1 = a_1 \omega_0^3$; $d_0 = \omega_0^4$; ω_0 – среднегеометрический корень ($\omega_0 = 250 \text{ с}^{-1}$).

Согласно [4], в результате структурно-алгоритмических преобразований применительно к РСУ получаем в относительных единицах алгоритм управления релейного регулятора скорости двигателя в фазовом пространстве естественных координат ЭП:

$$U = -\text{sign} [\Theta_{\text{пи}} + L\eta], \quad (3)$$

где $L = DK^{-1} = [l_1 \ l_2 \ l_3 \ l_4 \ l_5]^T$ – вектор коэффициентов обратных связей; $\Theta_{\text{пи}}$ – выходная величина нелинейной ПИ-связи, зависящая от ошибки регулирования η [5]; $D = [d_0 \ d_1 \ d_2 \ d_3 \ 1]^T$ – вектор желаемых коэффициентов характеристического полинома замкнутого контура; $\eta = [\eta_1 \ \eta_2 \ \eta_3 \ \eta_4 \ \eta_5]^T$ – вектор фазовых координат возмущенного движения; K – матрица канонического преобразования [4];

Для определения величины упругого момента M_y применим асимптотический наблюдатель состояния полного порядка с использованием скорости двигателя ω_1 в качестве измеряемой выходной координаты ОУ. Методика синтеза данного наблюдателя состояния применительно к РСУ представлена в [6].

В среде MATLAB / Simulink было проведено математическое моделирование пуска с фрикционной нагрузкой полученной РСУ. Результаты моделирования представлены на рис.1. Структурная схема РСУ, реализующей алгоритм управления (3), представлена на рис.2.

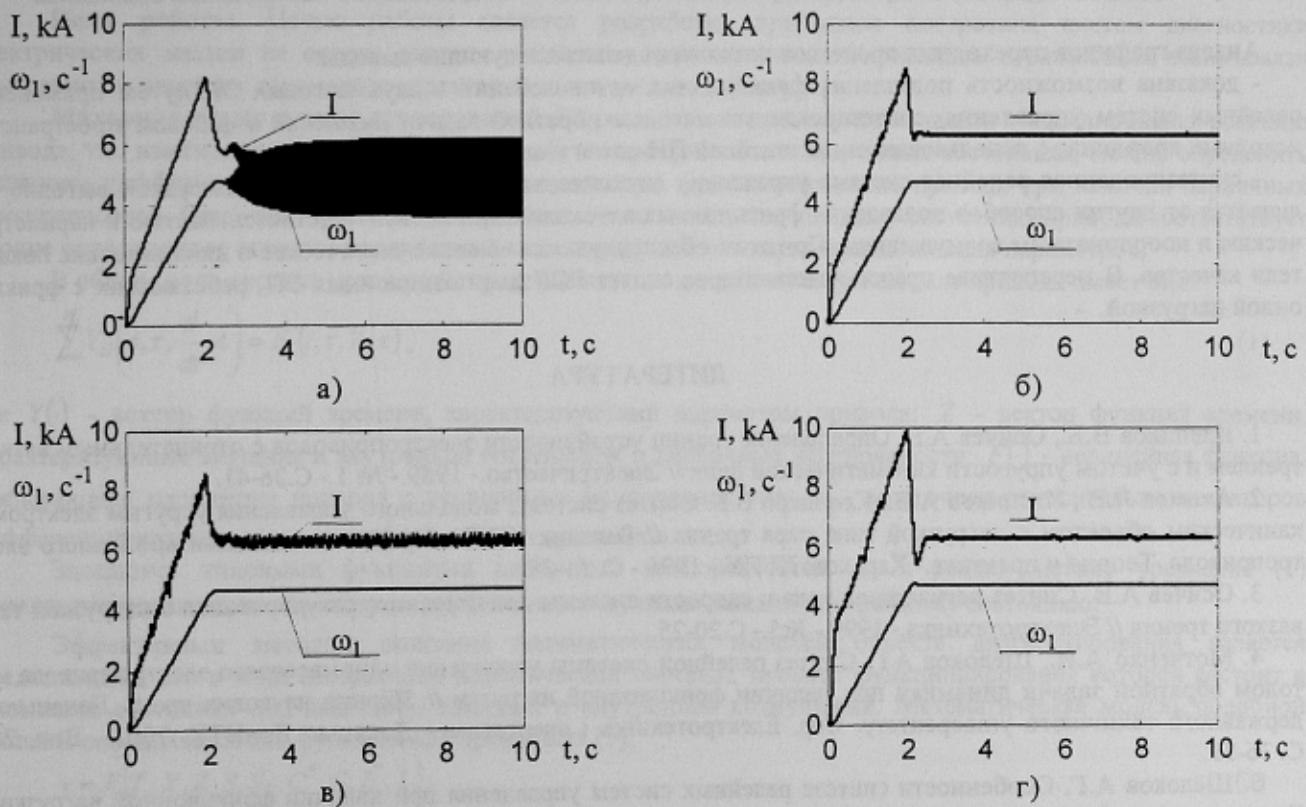


Рисунок 1 – Графики переходных процессов тока и скорости двигателя при пуске двухмассового ЭП с фрикционной нагрузкой: а) разомкнутая система; б) РСУ, реализующая алгоритм управления (3); в) РСУ, реализующая алгоритм управления (3) при увеличении R_3 в 2 раза; г) РСУ, реализующая алгоритм управления (3) при увеличении J_2 в 5 раз

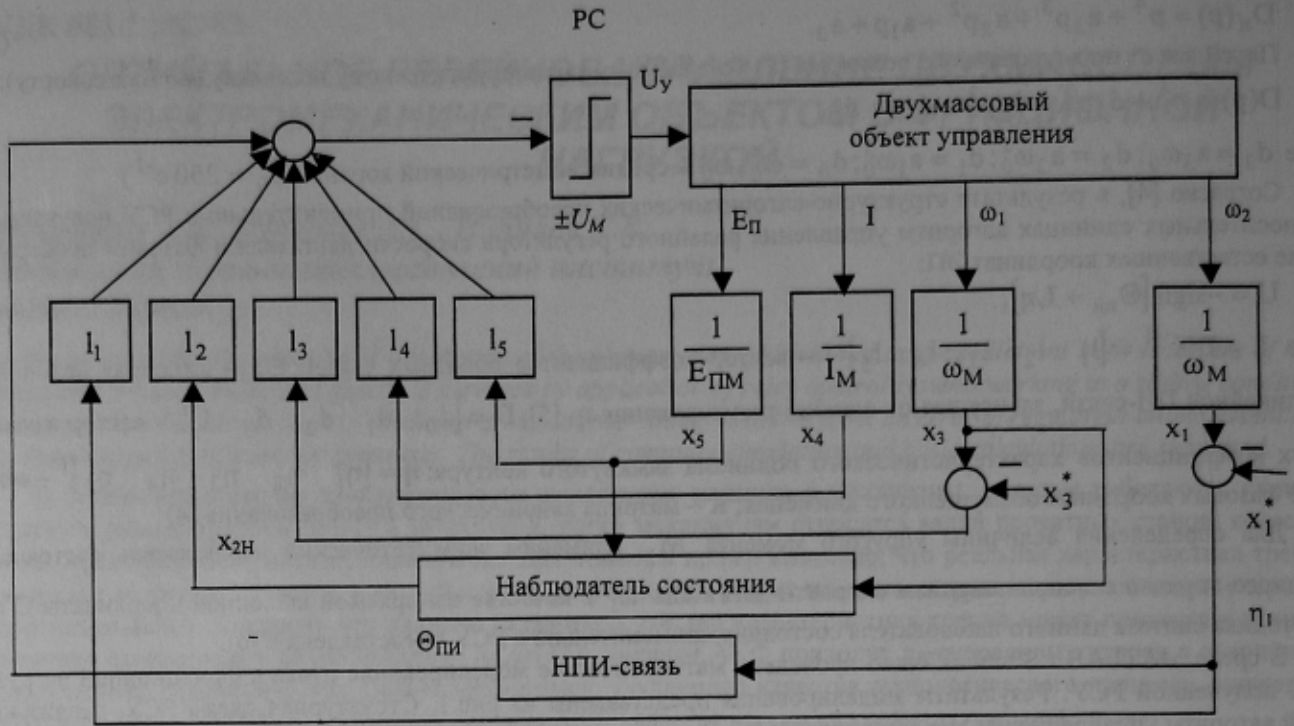


Рисунок 2 - Структурная схема регулятора скорости РСУ двухмассового ЭП, синтезированного в фазовом пространстве исходных координат с учетом НПИ-связи и использованием наблюдателя состояния

Анализ графиков переходных процессов позволяет сделать следующие выводы:

- доказана возможность подавления фрикционных автоколебаний в двухмассовых ЭП путем применения релейных систем управления, синтезированных методом обратной задачи динамики в фазовом пространстве исходных координат с использованием нелинейной ПИ-связи и наблюдателя состояния;
- синтезированная релейная система управления двухмассовым ЭП с фрикционной нагрузкой выгодно отличается от других способов подавления фрикционных автоколебаний низкой чувствительностью к параметрическим и координатным возмущениям. При этом обеспечиваются высокие статические и динамические показатели качества. В перспективе представляет интерес синтез РСУ для позиционных ЭП, работающих с фрикционной нагрузкой. -

ЛИТЕРАТУРА

1. Клепиков В.Б., Осичев А.В. Определение границ устойчивости электроприводов с отрицательным вязким трением и с учетом упругости кинематической цепи // Электричество.- 1989.- № 1.- С.36-41.
2. Акимов Л.В., Клепиков А.В., Клепиков В.Б. Синтез системы модального управления упругим электромеханическим объектом с нагрузкой типа пара трения // Вестник ХГПУ. Проблемы автоматизированного электропривода. Теория и практика.- Харьков: ХГПУ.- 1996.- С. 51-58.
3. Осичев А.В. Синтез регуляторов тока и скорости системы подчиненного регулирования с нагрузкой типа вязкого трения // Электротехника.- 1999.- №5.- С.20-25.
4. Мотченко А.И., Щёлоков А.Г. Синтез релейной системы управления одномассового электропривода методом обратной задачи динамики при наличии фрикционной нагрузки // Збірник наукових праць Донецького державного технічного університету. Сер. Електротехніка і енергетика.- Донецьк: ДонНТУ, 2001.- Вип. 28.- С. 36-39.
5. Щёлоков А.Г. Особенности синтеза релейных систем управления при наличии фрикционной нагрузки // Електромашинобудування та електрообладнання.- Одеса: Техніка.- 2001.- Вип. 57.- С. 26-30.
6. Щёлоков А.Г. Особенности синтеза двухмассовой релейной системы электропривода с фрикционной нагрузкой методом аналитического конструирования регуляторов с использованием наблюдателя состояния // Математичне моделування.- Дніпродзержинськ: ДДТУ.- 2000.- Вип.5.- С. 51-56.

Надано до редакції:
Рекомендовано до друку:

12.05.2003
д.т.н., проф. Коцегуб П.Х.