

**МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
ФГАОУ ВО «Севастопольский государственный университет»**



**СЕВАСТОПОЛЬСКИЙ
ГОСУДАРСТВЕННЫЙ
УНИВЕРСИТЕТ**



SYNERGY NETWORK



**РОССИЙСКИЙ
ФОНД
ФУНДАМЕНТАЛЬНЫХ
ИССЛЕДОВАНИЙ**

Мероприятие проведено при
финансовой поддержке Российского
фонда фундаментальных исследований
(проект № 18-38-10017 мол_г)

Интеллектуальные системы, управление и мехатроника – 2018

Материалы IV Всероссийской научно-технической
конференции молодых ученых, аспирантов и студентов
(г. Севастополь, 29-31 мая 2018 г.)



К О Н Ф Е Р Е Н Ц И Я

**ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНЫЕ
СИСТЕМЫ, УПРАВЛЕНИЕ
И МЕХАТРОНИКА**

**Севастополь
2018**

УДК 681.5
ББК 32.81:20.1
И 73

Научный редактор – А.Т. Барабанов, д-р техн. наук, профессор СевГУ

Соорганизаторы конференции: Балтийский государственный технический университет им. Д.Ф. Устинова, Дальневосточный федеральный университет, Национальный исследовательский университет «Московский энергетический институт», Омский государственный технический университет, Санкт-Петербургский государственный электротехнический университет «ЛЭТИ» им. В.И. Ульянова (Ленина), Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого, Технический университет – Варна, Черноморское высшее военно-морское ордена Красной Звезды училище им. П.С. Нахимова, Институт проблем управления им. В.А. Трапезникова РАН, Институт природно-технических систем, Институт системного анализа РАН, АО «Научно-технический центр «Импульс-2».

Редакционная коллегия:

А.А. Кабанов, канд. техн. наук, доцент, СевГУ;
В.В. Альчаков, канд. техн. наук, доцент, СевГУ;
А.А. Афонина, аспирант СевГУ;
И.В. Гусаков, аспирант СевГУ;

В сборнике содержатся материалы докладов, которые рассматривают теоретические и практические вопросы, связанные с проблемами автоматического управления техническими объектами и технологическими процессами. Стиль и орфография приведены в авторской редакции.

И 73 Интеллектуальные системы, управление и мехатроника – 2018: Материалы Всероссийской научн.-техн. конф., Севастополь 29-31 мая 2018 г. / МОН РФ, СевГУ [науч. ред. Барабанов А.Т.] – Севастополь: [Изд-во СевГУ], 2018 – 260 с.

УДК 681.5
ББК 32.81:20.1
© СевГУ, 2018

СОДЕРЖАНИЕ

ПЛЕНАРНЫЕ ДОКЛАДЫ

Шушляпин Е.А. Проблемы конструирования терминальных управлений нелинейными системами на основе подхода А. Исидори (A. Isidori) 7

Скороход Б.А. Алгоритмы оценивания состояния дискретных систем со скользящим окном 17

СЕКЦИЯ I. ОБЩЕТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ПРОБЛЕМЫ СОВРЕМЕННОЙ ТЕОРИИ УПРАВЛЕНИЯ

Даник Ю.Э. Численно-аналитический расчет стабилизирующих регуляторов для одного класса нелинейных систем 26

Бабенко О.О., Кабанов А.А. Разработка системы коррекции измерений скорости течения на базе средств инерциальной навигации 31

Магерка Г.В., Грушун А.И., Грушун Т.А. Многокритериальный параметрический синтез САУ с запаздыванием 36

Парфенова О.И., Колосов О.С. Параметрическая идентификация разомкнутой следящей системы по ее частотным характеристикам в замкнутом состоянии 42

Доброскок Н.А., Лавриновский В.С., Морозов А.В., Мохова О.В. Исследование устойчивости приводного синхронного двигателя в составе импульсного источника тока большой мощности 47

СЕКЦИЯ II. ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ И ПРИКЛАДНЫЕ ПРОБЛЕМЫ МЕХАТРОННЫХ И РОБОТОТЕХНИЧЕСКИХ СИСТЕМ

Жуков Ю.А., Надеждин М.И. Управление прецизионным гексаподом с компенсацией сил трения 52

Иваненко А.А., Кабанов А.А. Управление мобильным роботом с помощью Robotics System Toolbox пакета Matlab 57

Баранов Г.Д., Матус К.И. Моделирование токовых спектральных характеристик асинхронного двигателя, направленное на выявление маркеров повреждения стержней короткозамкнутого ротора, с применением метода конечных элементов 62

Жуков Ю.А., Коротков Е.Б., Мороз А.В., Кинематическое управление гексаподом космического назначения 67

Глущенко А.И., Петров В.А., Ласточкин К.А. Разработка нейросетевого регулятора для управления балансирующим роботом 72

Селезень Я.Ю., Балабанов А.Н., Исследование динамики дрейфа и определение дрейфовых характеристик научно-исследовательского судна «пионер-м» 77

Чертенков В.И., Челпанов Д.А., Карапетян В.А. Моделирование и стабилизация перевёрнутого маятника 82

УДК 681.5

Жуков Ю.А., старший преподаватель кафедры И8 – научный руководитель**Надежин М.И.**, инженер, магистрант кафедры И8*Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Балтийский государственный технический университет «ВОЕНМЕХ» им. Д.Ф. Устинова»,**г. Санкт-Петербург, Россия*mikhailn131@gmail.com

УПРАВЛЕНИЕ ПРЕЦИЗИОННЫМ ГЕКСАПОДОМ С КОМПЕНСАЦИЕЙ СИЛ ТРЕНИЯ¹

Введение

В БГТУ «ВОЕНМЕХ» и АО «ИСС» им. М.Ф. Решетнева ведется совместная работа по созданию ряда многостепенных механизмов с параллельной кинематикой для обеспечения точного позиционирования и стабилизации бортовых приборов и устройств космического назначения.

Успешное создание подобных систем невозможно без предварительного компьютерного моделирования, позволяющего качественно оценить возникающие в процессе конструирования структурные, функциональные, алгоритмические решения.

В настоящей работе рассматривается векторное управление линейным приводом, входящим в блок механики гексапода. Управление должно осуществляться с учетом эффектов трения, возникающих в механической передаче винт-гайка. Для анализа трений в механизме используется динамическая модель ЛуГре [1].

Разработка имитационной модели линейного привода

Для высокой точности перемещения в линейном приводе применяется гибридный шаговый двигатель. В составе привода используются датчики обратной связи (ОС) по положению и току, что позволяет применить алгоритмы векторного управления.

Математическая модель электромагнитной части двухфазного ШД описывается системой дифференциальных уравнений:

$$\begin{cases} L\dot{I}_a = U_a - I_a R + \omega K_m \sin(p\theta) \\ L\dot{I}_b = U_b - I_b R - \omega K_m \cos(p\theta) \\ T_e = -K_m I_a \sin(p\theta) + K_m I_b \cos(p\theta) - T_{dm} \sin(2p\theta) \end{cases},$$

где I_a, I_b – токи в обмотках статора, U_a, U_b – напряжения питания на обмотках статора, R – сопротивление обмотки статора, L – индуктивность обмотки статора, K_m – постоянная момента, создаваемая магнитом, p – число пар полюсов, θ – угловое положение вала двигателя, ω – скорость вращения вала двигателя, T_{dm} – остаточный электромагнитный тормозящий момент двигателя, T_e – создаваемый электродвигателем выходной электромагнитный момент на валу.

Применяя к измеряемым токам в обмотках двигателя I_a, I_b преобразование Парка, получим токи в пространстве подвижных координат d-q [2]:

$$\begin{cases} I_d = -I_a \sin(p\theta) + I_b \cos(p\theta) \\ I_q = I_a \cos(p\theta) + I_b \sin(p\theta) \end{cases},$$

в пространстве d-q желаемое значение тока по координате d - $I_d^{ref} = 0$; требуемое значение

¹ Работа выполнена при финансовой поддержке Министерства образования и науки Российской Федерации (договор от 01.12.2015 г. № 02.G25.31.0160).

тока по q формируется регулятором на основе ошибки регулирования $I_q^{ref} = K_p(\theta^{ref} - \theta) - K_d\dot{\theta}$. Желаемые значения токов используются для вычисления желаемых фазных напряжений в регуляторах тока U_q^{ref}, U_q^{ref} , на основе которых, применяя обратное преобразование Парка, получим значения фазных напряжений U_a^{ref}, U_b^{ref} .

Достаточно полно смоделировать эффект трения в линейном приводе возможно благодаря динамическим моделям трения. В [3] проводится их сравнительный анализ и экспериментальные исследования. Среди исследователей и разработчиков мехатронных систем наибольшую популярность получила модель ЛУГре, описываемая системой дифференциальных уравнений:

$$F = \sigma_0 z + \sigma_1 \frac{dz}{dt} + \sigma_2 v$$

$$\frac{dz}{dt} = v - \frac{|v|}{g(v)} z$$

$$\sigma_0 g(v) = F_C + (F_S - F_C) e^{-\left(\frac{v}{v_s}\right)^2},$$

где F — сила трения, v — скорость между двумя соприкасающимися поверхностями, z — переменная, характеризующая отклонение микронеровностей, расположенных между соприкасающимися поверхностями, σ_0 — коэффициент упругой жесткости, характеризующий пружиноподобное поведение системы с трением для малых смещений, σ_1 — коэффициент диссипации/демпфирования, σ_2 — коэффициент вязкого трения для высоких скоростей, F_C — уровень Кулонова трения, F_S — уровень статического трения (сила отрыва), v_s — параметр, называемый скоростью Штрибека и характеризующий скорость перехода от статического трения к Кулонову трению, функция $g(v)$ учитывает эффект прилипания и эффект Штрибека.

На рис. 1 представлена модель цифровой системы управления линейным приводом, включающая в себя модели шагового привода и трения ЛУГре, реализованные по их математическим моделям.

На вход системы управления подается сигнал желаемого углового положения ротора шагового двигателя - «pos_ref», Регулятор шагового привода формирует напряжения питания для модели электромагнитной системы шагового двигателя. Электромагнитный момент с учетом коэффициентов передачи редуктора (ip) и пары «винт-гайка» ($Kscr$) и за вычетом силы трения (Ftr) преобразуется в силу линейного привода, воздействующую на подвижную часть привода «Plate cylinder», шарнирно соединенную с неподвижным основанием «Base cylinder».

Как правило, при реализации схем управления напряжением на обмотках шагового двигателя с целью ускорения скорости нарастания тока применяют обратную связь по току. Модель электромагнитной системы шагового двигателя с токовой обратной связью показана на рис. 2.

На входы модели подаются напряжения фаз шагового двигателя U_a и U_b , усилители с коэффициентом K_g формируют желаемые токи в обмотках привода, усилители K_u с обратной связью K_{os} задают напряжение на обмотках двигателя. Блоки «Saturation1» и «Saturation2» учитывают ограничение по питанию в обмотках привода.

Подсистема «Трение» (рис. 3) реализует модель трения ЛУГре.

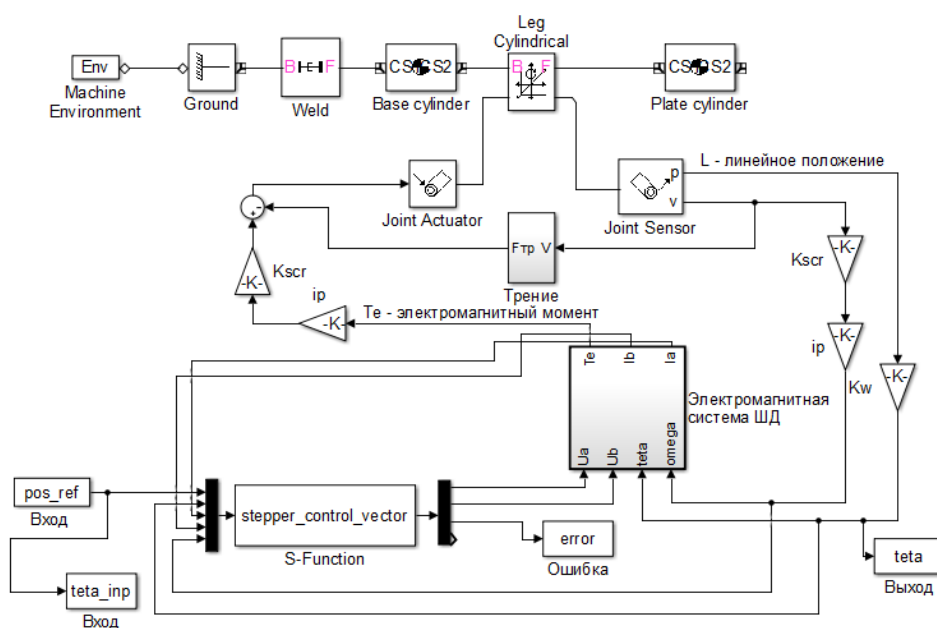


Рис. 1. Модель системы управления линейным приводом в векторном режиме

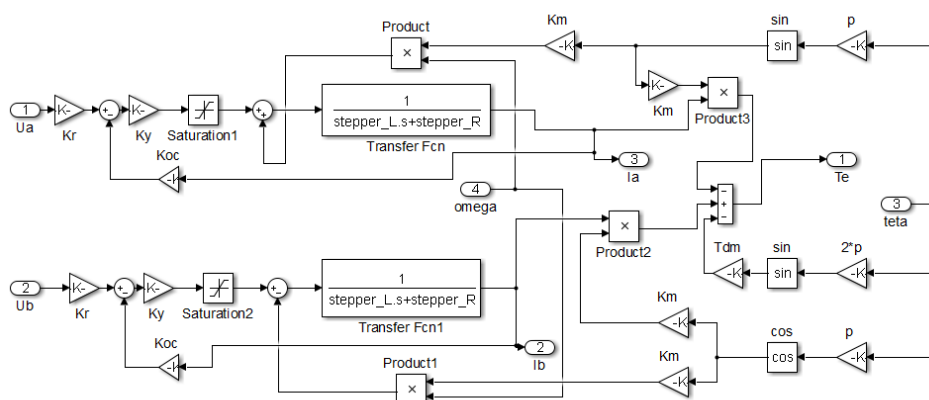


Рис. 2. Модель электромагнитной системы шагового двигателя

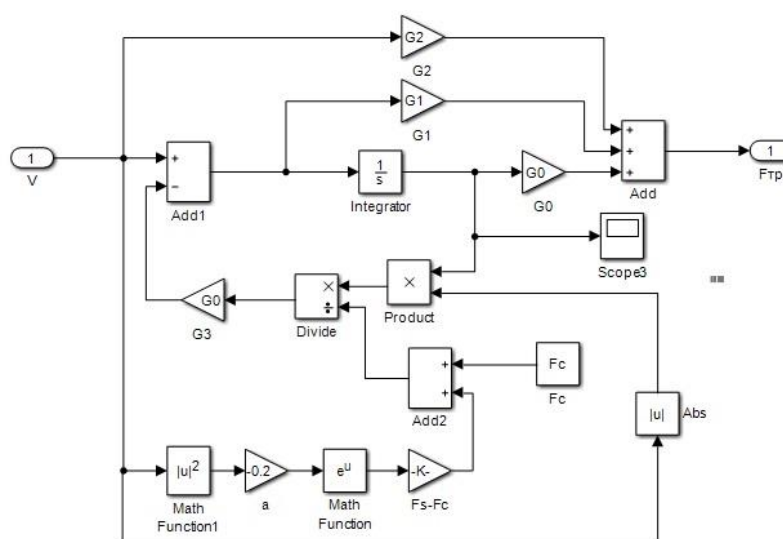


Рис. 3. Подсистема, реализующая трение ЛуГре

Исследование разработанных моделей

Исследуется двигатель с параметрами: $p=50$, $R=1.8$ Ом, $L=0.0025$ Гн, $K_m=0.5$ Нм/А, $U=30$ В, $T_{dm}=0.05$ Нм. Коэффициент передачи редуктора с винтовой парой - $K_w=1.57 \cdot 10^5$ рад/м. Передаточное число редуктора $i_p = 50$.

Для начала проведем моделирование, вводя в модель только вязкое трение. Входное воздействие – синусоида с единичной амплитудой. Коэффициент ОС по току - 5. Результаты представлены на рис. 4.

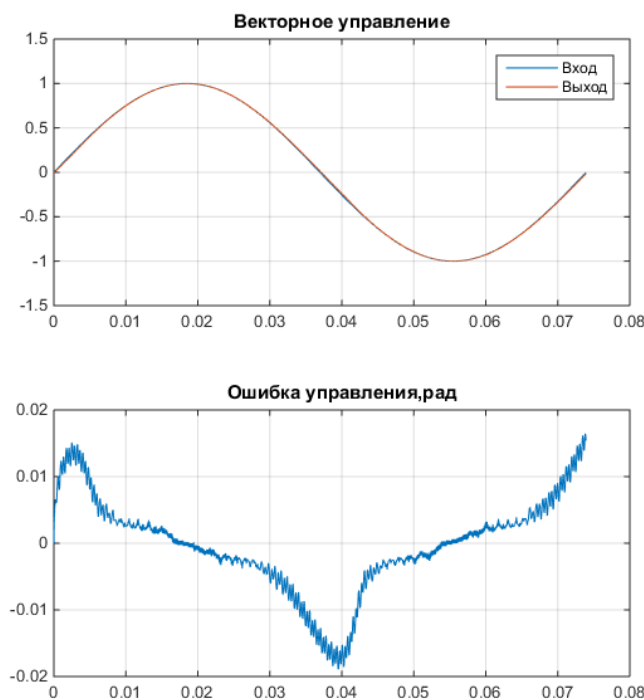


Рис. 4. Моделирование векторного режима

Далее проведем моделирование, применив модель ЛуГре (рис. 5) с параметрами: $\sigma_0 = 5 \cdot 10^7$ Н/м, $\sigma_0 = 0$, $\sigma_0 = 10$ Н*сек/м, $v_s = 2500$ м/сек, $F_s=0.2F_{max}$, $F_s=0.15F_{max}$. F_{max} – максимальное усилие, развиваемое приводом.

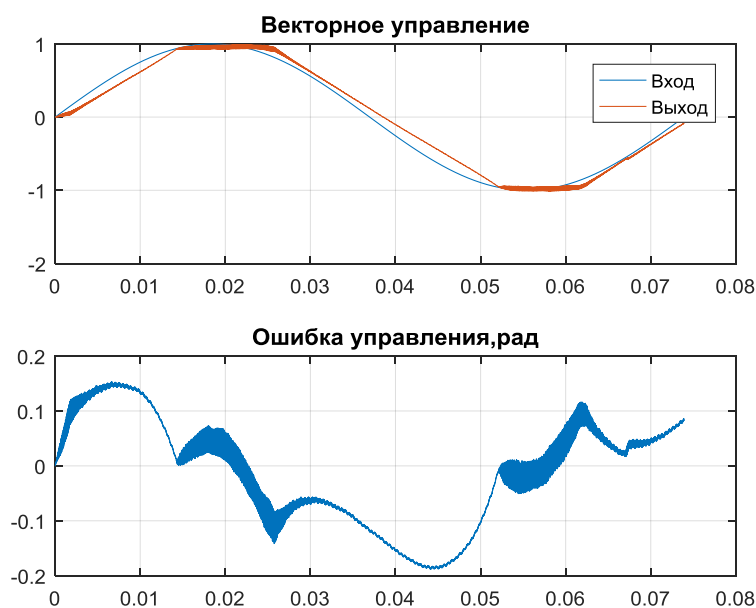


Рис. 5. Моделирование с учетом эффектов трения

Как видно из графика (см.рис.5), трение существенно влияет на управление приводом. Чтобы скомпенсировать этот эффект, необходимо изменить коэффициенты ОС по току и усилению по напряжению. Увеличим коэффициенты ОС по току до 40 и проверим работоспособность модели (рис. 6)

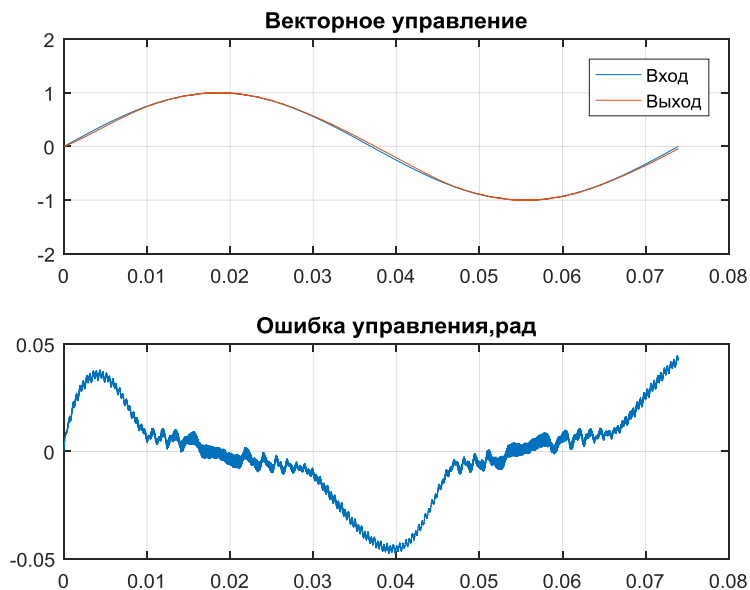


Рис. 6. Моделирование с учетом трения и компенсаций

Как видно по результатам моделирования (см.рис.6) токовая ОС позволила скомпенсировать влияние эффектов трения на качество управления приводом.

Выводы

Разработана имитационная модель линейного привода с цифровой системой управления, в которую были интегрированы модели шагового двигателя и трения ЛуГре. По результатам исследований модель оказалась полностью работоспособна и позволяет оценить режимы управления шаговыми линейными приводами, влияние конструктивных параметров, инерционной нагрузки и нелинейных сил трения на качество переходных процессов. Разработан алгоритм управления шаговым приводом с компенсацией нелинейных сил трения.

В перспективе планируется развитие имитационной модели в направлении учета влияния температурных деформаций а также анализа влияния различных методов управления линейными приводами на качество управления.

Список литературы

1. Karl Johan °Aström, Carlos Canudas de Wit. Revisiting the LuGre friction model. IEEE Control Systems Magazine, Institute of Electrical and Electronics Engineers, 2008, 28 (6), pp.101-114.
2. P.M. Anderson and A.A. Fouad Power System Control and Stability IEEE Press (2003). ISBN 978-81-265-1818-0.
3. Захаров Ю.А. Анализ динамики гироскопов в кардановых подвесах с учетом эффекта предварительного смещения в трении, СГТУ, Саратов 2010г.