

Моделирование и исследование динамики рекуперационных механизмов

Научный руководитель – Мусалимов Виктор Михайлович

Нуждин Кирилл Андреевич

Аспирант

Санкт-Петербургский национальный исследовательский университет информационных технологий, механики и оптики, Санкт-Петербург, Россия

E-mail: nkirill_74@mail.ru

Моделирование и исследование динамики рекуперационных механизмов

Введение

В настоящее время робототехника является одной из самых развивающихся отраслей промышленности. Каждый год производится несколько тысяч моделей различных роботов успешно применяемых в промышленности, различных сферах услуг и других областях человеческой жизни.

В промышленных роботах совмещаются высокая производительность и качество выполнения задач, а также исключаются воздействие на персонал вредных факторов и влияние человеческого фактора на конвейерных производствах при проведении монотонных работ, требующих высокой точности. Однако, с другой стороны, промышленный робот - это сложное высокотехнологическое механическое устройство, и на данный момент одной из главных проблем остается его энергоэффективность.

Для решения данной задачи используется внедрение рекуперационных механизмов, направленных на частичное восстановление затраченной энергии с помощью различных исполнительных звеньев, выполненных в виде упругих элементов (например, пружин или упругих стержней). Таким образом, исследование данных рекуперационных механизмов с точки зрения динамики является одной из главных задач при проектировании энергоэффективных промышленных роботов. При этом в расчет непременно должны входить параметры связанные с влиянием процесса трения в соединительных узлах звеньев механизма.

Главной задачей данного исследования является моделирование динамики рекуперационных механизмов с учетом влияния трения. В качестве примера был проведен анализ механизма шагового привода с пружинным аккумулятором с выходным поворотным звеном, модель которого была построена на основе устройства, приведенного в работах [1-5].

Механизм с рекуперацией энергии

Задача снижения энергопотребления технологического оборудования решается использованием мехатронных рекуперативных приводов с пружинными аккумуляторами для выполнения рабочих операций, требующих возвратно-поступательных движений рабочих органов [1,2]. Пружинные аккумуляторы с выходным поворотным звеном используются в приводах с рекуперацией энергии для шаговых перемещений и уравнивающих устройств. Несмотря на значительное снижение затрат энергии и благоприятные динамические режимы в пружинных приводах этого типа, отсутствует прорыв в их использовании. Хотя известны работы, посвященные этим приводам, последние не находят реального воплощения в конструкторских разработках. В то же время на рынке комплектующих элементов присутствует большое количество изделий, которые могут быть использованы

при создании пружинных приводов для шаговых перемещений. Другой областью применения пружинных аккумуляторов являются испытательные машины для определения срока службы и надёжности элементов машин, например, зубчатых ремней, зубчатых и цепных передач. В этом случае при рабочей нагрузке на испытываемые детали затраты энергии будут снижены, по крайней мере, на порядок по сравнению с затратами энергии в типовых испытательных стендах. Необходимо отметить, что в технической литературе отсутствует информация о характеристиках пружинных аккумуляторов и методиках их расчёта [3].

В настоящей работе рассматриваются пружинные аккумуляторы с выходным поворотным звеном, выполняющие функцию двигателя с жёсткой силовой характеристикой в приводах. Использование пружинных аккумуляторов с выходным поворотным звеном в приводах с рекуперацией энергии для шаговых перемещений позволяет значительно снизить затраты энергии по сравнению с традиционными шаговыми приводами [2,5]. Пружинные приводы обладают высоким быстродействием и отличаются повышенной надёжностью. Нелинейный пружинный аккумулятор с выходным поворотным звеном и углом поворота 360° представлен на рис. 1. Следует отметить, что перемещение звена, совершающего вращательное движение, происходит в горизонтальной плоскости.

Модель механизма в SimMechanics

Модель данного устройства, выполненная с использованием библиотеки SimMechanics пакета Simulink среды MATLAB, представлена на рис. 2.

Блоки Machine Environment и Ground (1,2) задают соответственно гравитационные силы для модели и условия крепления и положения частей механизма. Revolute, Body - формируют геометрию вращающегося рабочего звена. Joint Actuator1 является кинематическим приводом, обеспечивающим вращательное движение. Joint Sensor предназначен для получения выходных характеристик рабочего (исполнительного) звена. Блок Coulomb & Viscous Friction используется для учета влияния трения в шарнирном соединении Revolute. Body Spring & Damper (1) выполняют роли нелинейных пружин. Блок Subsystem задает входной сигнал, подаваемый на привод Joint Actuator1.

Данная модель построена таким образом, что ось вращения рабочего звена лежит на одной прямой с осями вращения шарнирного сочленения пружин и стойки. Исходная длина данных пружин принимается равной 0,1 м, кроме этого в процессе функционирования механизма каждая из них находится в деформированном (растянутом) состоянии и достигает исходной (начальной) длины лишь в момент времени, когда другая пружина имеет наибольшую величину растяжения. Описанное расположение позволяет наиболее эффективно применять пружинный аккумулятор для рекуперации энергии, затраченной приводом вращательного движения.

Весь рабочий цикл поворота механизма, т.е. полный оборот исполнительного звена вокруг оси вращения можно мысленно разделить на четыре части (см. рис. 3). Незаштрихованные области соответствуют стадиям "зарядки" пружинного аккумулятора, здесь под действием крутящего момента привода совершается вращательное движение рабочего звена, которое, в свою очередь, воздействуя на пружины, выводит их из состояния равновесия, сжимая одну и растягивая другую. Здесь следует сделать некоторое пояснение: согласно теории катастроф и теории устойчивости, данный механизм с пружинным аккумулятором, состоящим из двух одинаковых пружин, имеет два положения устойчивости, т.е. такие условия при которых не совершаются колебания рабочего звена, а состояние и положение пружин не меняются сколь угодно много времени. В нашем случае (рис. 3) в начальный момент времени механизм находится в первом устойчивом состоянии равном нулевому отклонению рабочего звена относительно оси вращения. Второе устойчивое положение симметрично ему, т.е. расположено в точке отклонения исполнительного звена

равному 180° . Данные два положения являются своего рода аттракторами соответственно для правой и левой полуокружностей траектории движения рабочего звена.

Застрехованные области графика траектории исполнительного звена соответствуют циклу работы пружинного аккумулятора. Здесь происходит отключение привода и движение производится только за счет накопленной энергии пружин [6].

Анализ полученных данных

Для оценки рекуперационных свойств полученного механизма было проведено сравнение характеристик с исходным устройством, т.е. без пружинного аккумулятора. Схема исходного механизма представлена на рис. 4.

Для сравнения характеристик механизмов с пружинным аккумулятором и без него на вход блока привода подавался один и тот же сигнал, соответствующий одному полному обороту исполнительного звена (см. рис. 5).

Далее, на рис. 6 приведены полученные результаты для данных механизмов. Слева продемонстрированы характеристики (угол поворота исполнительного звена, град.; угловая скорость вращения, град./с; крутящий момент привода, Н*м) исходного механизма, справа - те же характеристики для рекуперационного механизма с пружинным аккумулятором.

Анализируя полученные результаты можно заметить, что применение пружинного аккумулятора позволяет значительно уменьшить время работы привода, что соответственно приводит к уменьшению энергопотребления в среднем на 21%. Однако, с другой стороны, использование упругих элементов повышает частоту колебаний рабочего звена, тем самым увеличивая время выполнения рабочего цикла.

Заключение

В ходе проделанной работы был исследован рекуперационный механизм шагового привода с пружинным аккумулятором с выходным поворотным звеном. С помощью пакета прикладных программ MatLab и библиотеки SimMechanics была построена модель данного устройства. Анализ динамики полученного механизма и сравнение параметров с устройством без пружинного аккумулятора позволили оценить значение сохраненной энергии равное 21%. Полученные результаты позволяют подтвердить целесообразность применения пружинных аккумуляторов в цикловых вращательных механизмах для рекуперации энергии.

Источники и литература

- 1) 1. Пелупесси Д.С., Жавнер М.В. Пружинные аккумуляторы с выходным поворотным звеном // Известия Самарского научного центра Российской академии наук. 2016. Т. 18. № 1-2. С. 256-259.
- 2) 2. Пелупесси Д.С., Жавнер М.В. Пружинные аккумуляторы с выходным поворотным звеном для шаговых перемещений // Известия высших учебных заведений. Машиностроение. 2016. № 10 (679). С. 9-17.
- 3) 3. Жавнер В.Л., Мацко О.Н. Пружинные приводы для возвратно-поступательных перемещений // Проблемы машиностроения и надежности машин. 2016. № 1. С. 3-7.
- 4) 4. Жавнер В.Л., Мацко О.Н. Пружинные приводы с рекуперацией энергии для возвратно-поступательных перемещений // Современное машиностроение. Наука и образование. 2016. № 5. С. 645-653.

- 5) 5. Жавнер В.Л., Жавнер М.В., Мацко О.Н. Мехатронный рекуперативный привод для возвратно-поступательных перемещений // Современное машиностроение. Наука и образование. 2012. № 2. С. 304-310.
- 6) 6. Nuzhdin K. Recuperation Mechanisms Based on Elastic Elements // Proceedings of the 17th International Symposium Topical Problems in the Field of Electrical and Power Engineering, Doctoral School of Energy and Geotechnology, Tallinn university of technology, Kuressaare - 2018, pp. 268 - 271

Иллюстрации

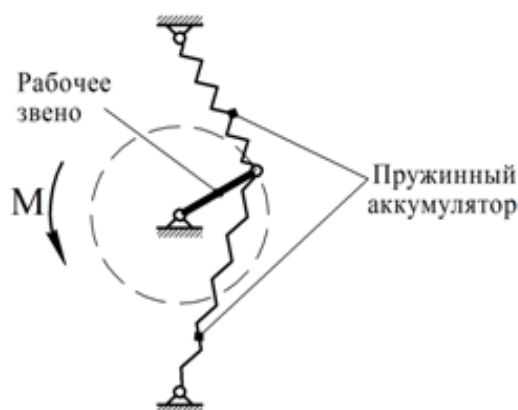


Рис. 1. Рис. 1 – Схема нелинейного пружинного аккумулятора с выходным поворотным звеном

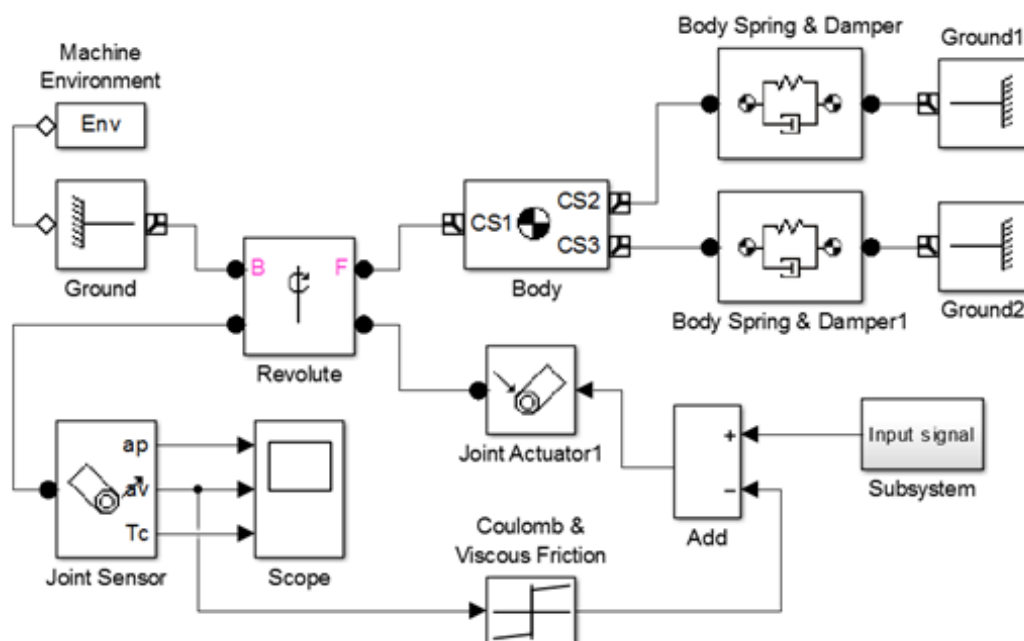


Рис. 2. Рис. 2 – Модель нелинейного пружинного аккумулятора

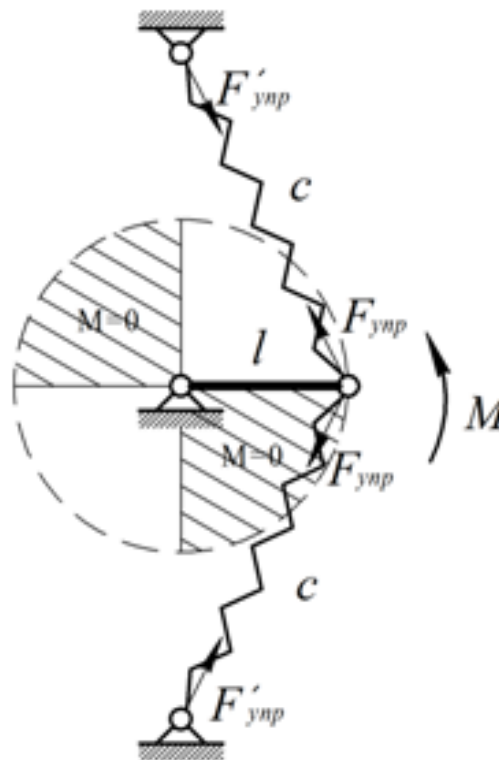


Рис. 3. Рис. 3 – Схема работы механизма с рекуперацией энергии

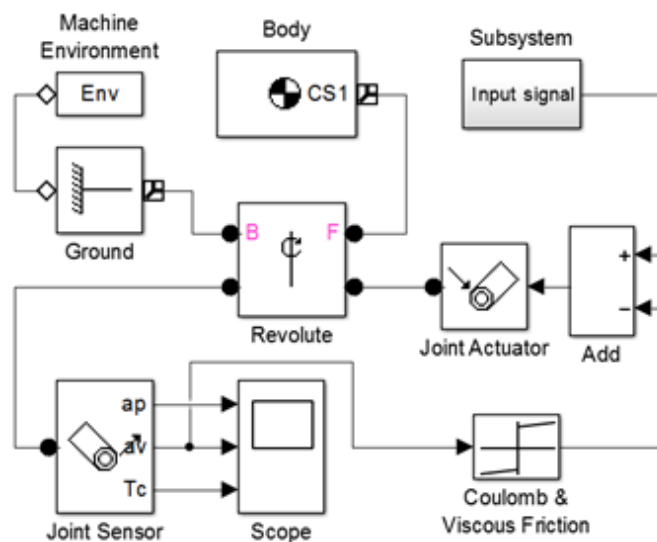


Рис. 4. Рис. 4 – Схема механизма без пружинного аккумулятора

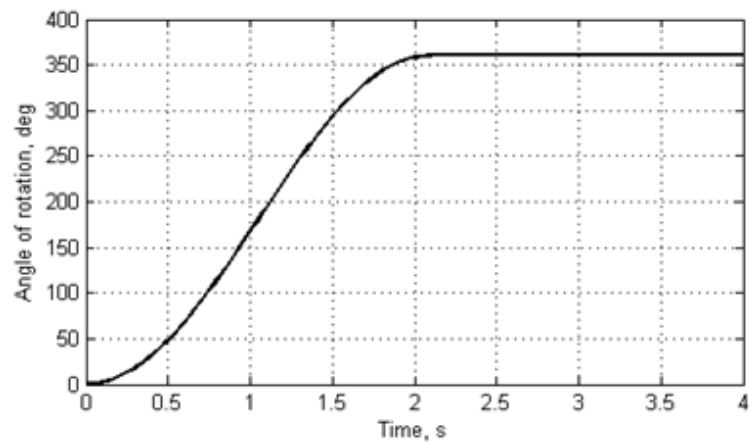


Рис. 5. Рис. 5 – График зависимости вращения вала привода от времени

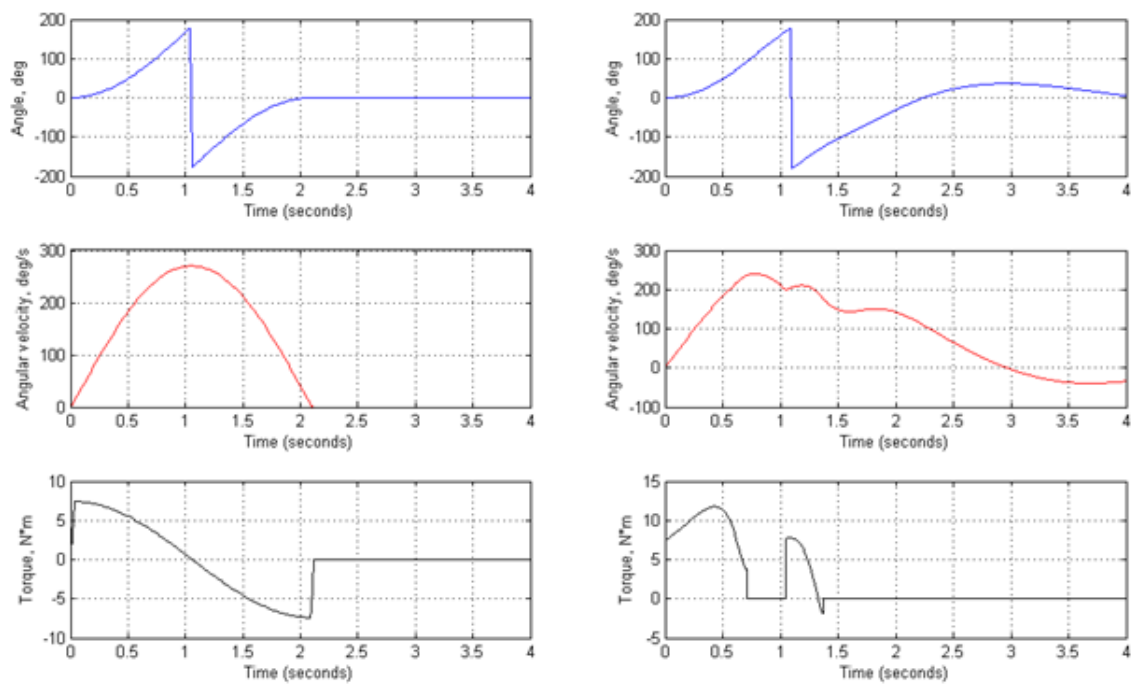


Рис. 6. Рис. 6 – Полученные результаты для исходного механизма (слева) и механизма с пружинным аккумулятором (справа)