УДК 681.53

МЕТОДЫ КОМПЕНСАЦИИ ВЛИЯНИЯ ЗАДЕРЖЕК В ОБРАТНОЙ СВЯЗИ ПО ПОЛОЖЕНИЮ В ПОЗИЦИОННОМ ЭЛЕКТРОПРИВОДЕ

METHODS FOR COMPENSATING THE EFFECT OF POSITION FEEDBACK DELAYS IN POSITION-CONTROLLED ELECTRIC DRIVES

Савкин Дмитрий Игоревич
старший преподаватель
кафедры автоматизированного электропривода,
Национальный исследовательский университет
«Московский энергетический институт»
Savkindmi@mpei.ru

Краснослободцев Дмитрий Иванович
бакалавр,
студент кафедры автоматизированного электропривода,
Национальный исследовательский университет
«Московский энергетический институт»
KrasnoslobodDI@mpei.ru

Аннотация. В статье рассматривается проблема влияния задержек в обратной связи по положению на устойчивость и точность позиционного электропривода. На примере модели трёхконтурной подчиненной системы управления двигателем постоянного тока с независимым возбуждением, реализованной в среде моделирования SimInTech, показано, что наличие чистого запаздывания в контуре положения приводит к появлению перерегулирования и снижению динамической точности. Предложены два метода компенсации указанного негативного эффекта: введение инерционного звена в контур задания положения и использование задатчика интенсивности с линейным изменением регулируемой координаты. Результаты моделирования подтверждают эффективность предложенных подходов с точки зрения подавления колебаний и улучшения качества переходных процессов.

Ключевые слова: позиционный электропривод, подчиненное регулирование, компенсация запаздывания, задатчик интенсивности, среда моделирования SimInTech, двигатель постоянного тока, перерегулирование.

Savkin Dmitrii Igorevich
Senior Lecturer of the Department
of Automated Electric Drives,
National Research University
«Moscow Power Engineering Institute»
Savkindmi@mpei.ru

Krasnoslobodtsev Dmitry Ivanovich
Bachelor's Degree,
Student of the Department
of Automated Electric Drives,
National Research University
«Moscow Power Engineering Institute»
KrasnoslobodDI@mpei.ru

Annotation. This paper addresses the problem of position feedback delay effects on the stability and accuracy of position-controlled electric drives. Using a model of a three-loop cascaded control system for a separately excited DC motor implemented in the SimInTech simulation environment, it is shown that the presence of pure time delay in the position loop leads to overshoot and reduced dynamic accuracy. Two methods are proposed to compensate for this adverse effect: introducing a first-order lag element into the position reference path, and employing a rate limiter (ramp generator) with a linear change of the controlled variable. The simulation results confirm the effectiveness of the proposed approaches in suppressing oscillations and improving the quality of transient responses.

Keywords: position-controlled electric drive, cascaded control, time delay compensation, ramp generator, rate limiter, SimInTech simulation environment, DC motor, overshoot.

В современном электроприводе, особенно в системах числового программного управления (ЧПУ) и робототехнике, ключевое значение имеет точность позиционирования. Классическая структура регулирования положения обычно строится по принципу подчиненного регулирования. Внешний контур (контур положения) формирует задание на скорость для внутреннего контура регулирования скорости, который, в свою очередь, управляет током (моментом) двигателя. Пример структуры управления в среде моделирования SimInTech на базе системы с моделью преобразователя напряжения (представлен простым инерционным звеном с постоянной времени равной периоду несущего сигнала широтно-импульсной модуляции) и двигателя постоянного тока с независимым возбуждением (ДПТ НВ) с заданием на линейное перемещение [1, 2] представлен на рисунке 1.

Регулятор положения (линейного перемещения) настраивается таким образом, чтобы с учётом всех ограничений в системе достичь требуемого быстродействия без перерегулирования по заданной координате и без статической ошибки. Пример отработки задания на линейное перемещение представлен на рисунке 2.

Указанная система настроена для случая отсутствия задержек в обратной связи по положению. В реальности же такие задержки возможны и могут быть связаны с особенностями применяемых датчиков, методов измерения и передачи данных. На рисунке 3 представлена модель системы с имитацией задержки в контуре положения. Данная задержка реализована звеном чистого запаздывания с задержкой в 300 мс.

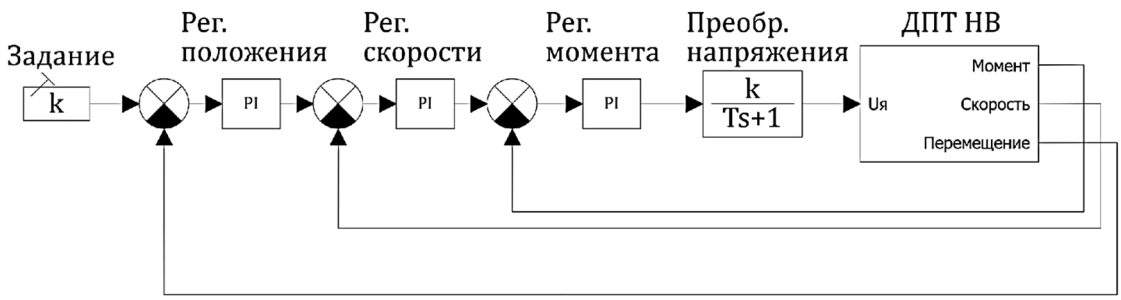

Рисунок 1 – Модель трёхконтурной системы подчиненного регулирования ДПТ НВ в среде SimInTech

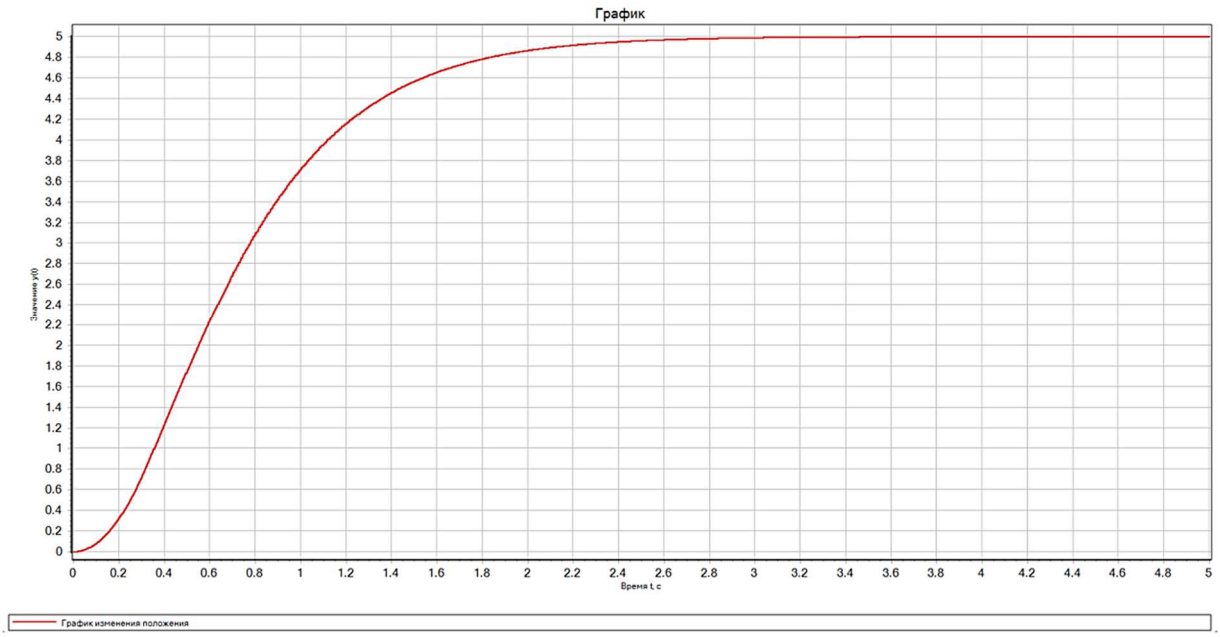

Рисунок 2 – Отработка перемещения (5 метров),
по оси x – время (в секундах), по оси y – перемещение (в метрах)

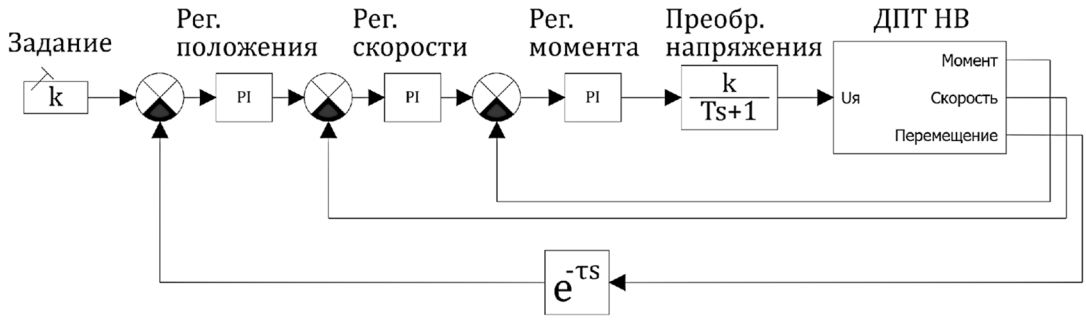

Рисунок 3 – Модель с учётом запаздывания в контуре положения

Чистое запаздывание вносит в систему фазовый сдвиг, линейно возрастающий с частотой, что крайне критично для точности и устойчивости работы контура управления [3]. На рисунке 4 показано влияние данного запаздывания. При настройках регуляторов аналогичных системе на рисунке 1 при отработке заданного перемещения наблюдается перерегулирование, что недопустимо в системах с контуром положения. В данном случае перерегулирование составило 4,5 %.

Показанное влияние запаздывания в обратной связи можно компенсировать несколькими методами.

Первый из них – это введение инерционности в контур задания регулируемой координаты. Модель данной системы представлена на рисунке 5.

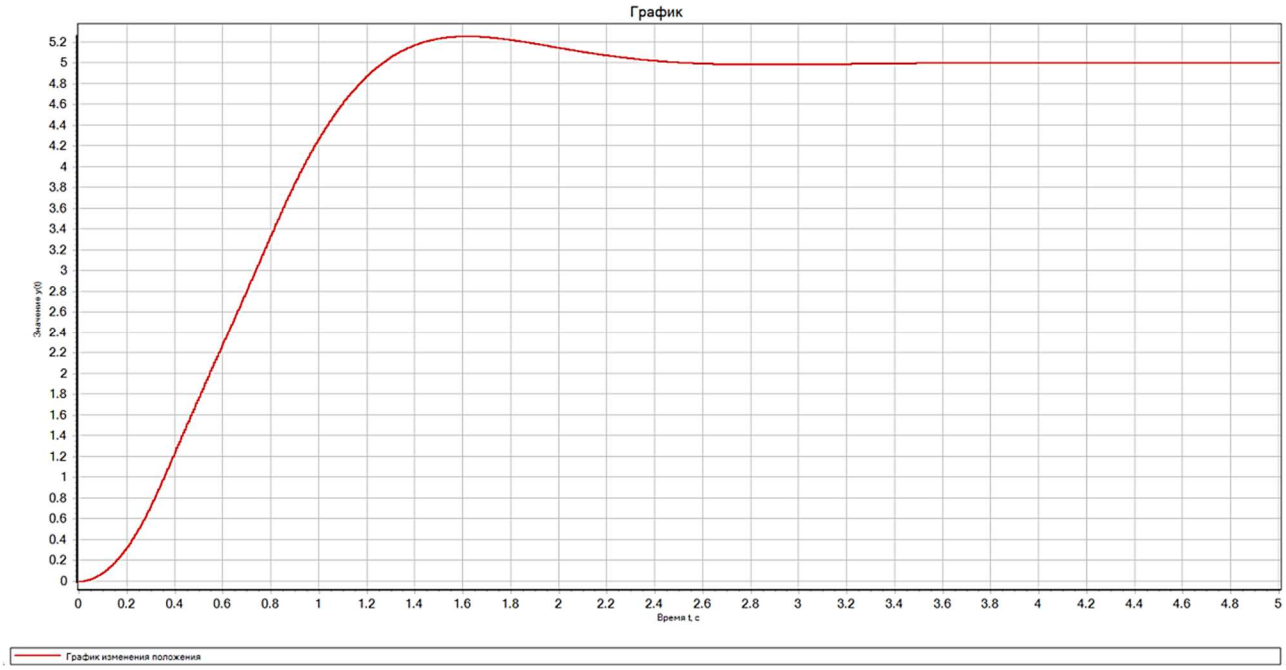

Рисунок 4 – Отработка перемещения (5 метров) с блоком запаздывания в обратной связи, по оси x – время (в секундах), по оси y – перемещение (в метрах)

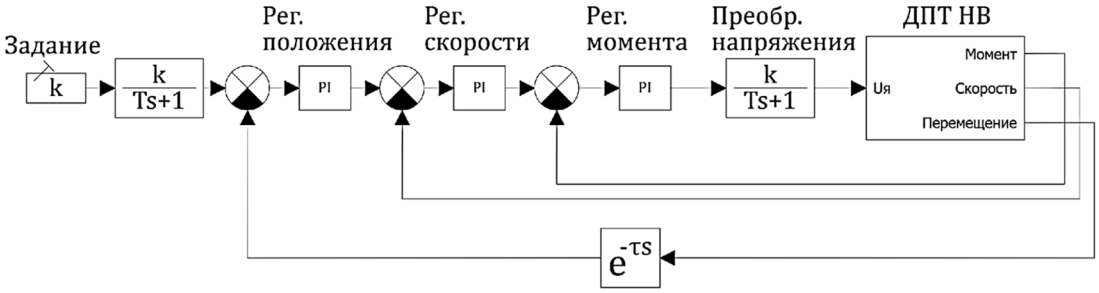

Рисунок 5 – Модель с учётом инерционности в контуре задания положения

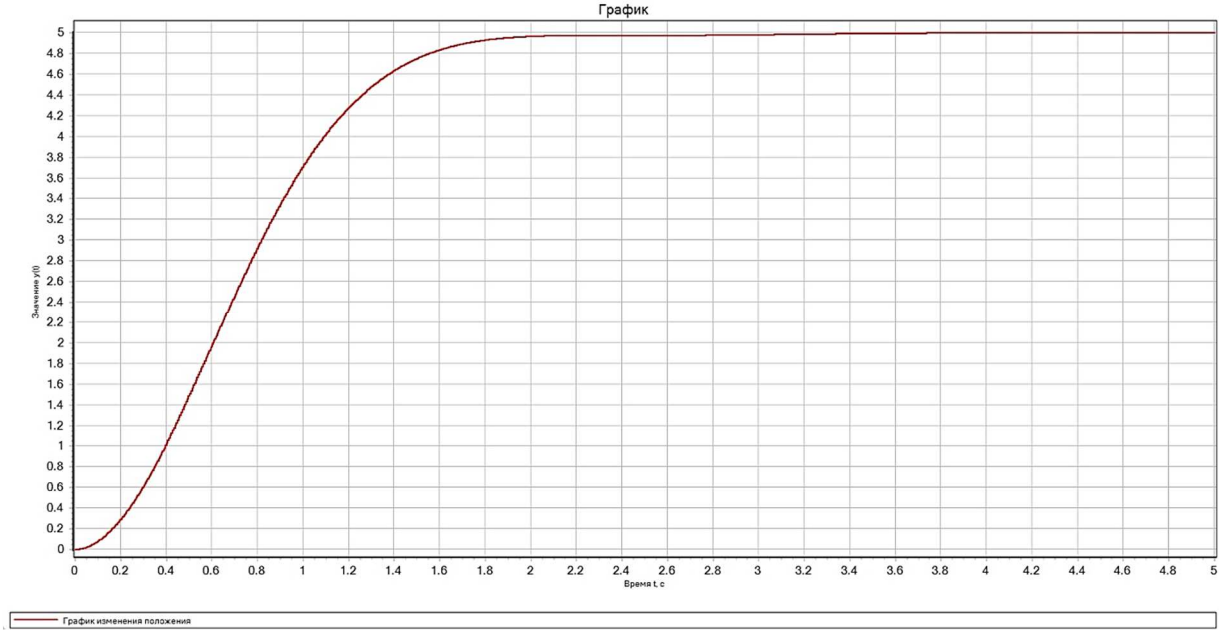

Рисунок 6 – Отработка перемещения (5 метров) с учётом инерционности в контуре задания положения, по оси x – время (в секундах), по оси y – перемещение (в метрах)

Данная компенсация требует оценки постоянной времени инерционного звена. При этом сам метод при должной оценке оказался эффективным для подавления колебаний, вызванных запаздыванием в обратной связи, однако оказал влияние на динамику и точность отработки задания. Данный эффект вызван тем, что инерционное звено вносит фазовый сдвиг, отличающийся от сдвига, вносимого чистым запаздыванием на средних частотах. На рисунке 6 представлен результат с постоянной времени инерционного звена равной 480 мс.

Второй метод – задание регулируемой координаты линейной функцией с применением задатчика интенсивности. Модель системы представлена на рисунке 7.

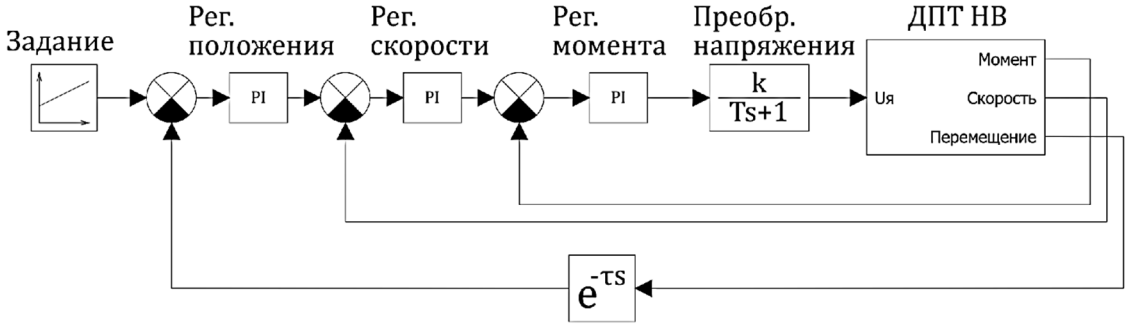

Рисунок 7 – Модель с задатчиком интенсивности в контуре задания положения

Были подобраны коэффициенты задатчика интенсивности, которые при заданном темпе изменения регулируемой координаты позволили компенсировать колебательность в системе и перерегулирование. Результат показан на рисунке 8.

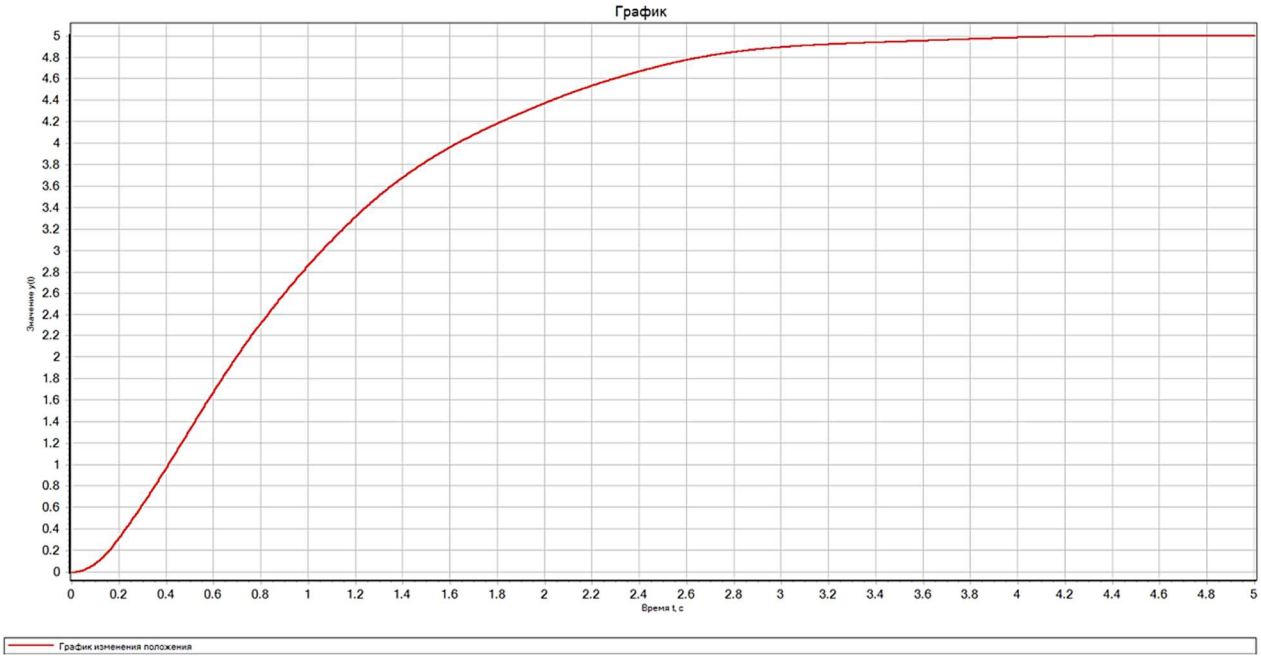

Рисунок 8 – Отработка перемещения (5 метров) с учётом задатчика интенсивности в контуре задания положения, по оси x – время (в секундах), по оси y – перемещение (в метрах)

Метод легко реализуем как для аналоговых, так и для цифровых систем управления. При этом динамика в данном случае будет определятся в том числе темпом изменения задания на регулируемую координату.

В результате проведенные на моделях в среде SimInTech эксперименты подтвердили возможность эффективной компенсации негативного влияния динамических искажений в обратной связи позиционного привода путем введения корректирующих звеньев на входе системы управления.

Список литературы:

1. Калачев Ю.Н. Системы управления и моделирования электропривода / Ю.Н. Калачев, Г.Б. Онищенко. – М. : ДМК Пресс, 2022. – 154 с.
2. Анучин А.С. Системы управления электроприводов. – М. : Издательский дом МЭИ, 2015. – 373 с.
3. Усынин Ю.С. Теория автоматического управления : учеб. пособие для вузов. – Челябинск : Издательский центр ЮУрГУ, 2010. – 176 с.

List of references:

1. Kalachev Y.N. Electric Drive Control and Modeling Systems / Y.N. Kalachev, G.B. Onishchenko. – M. : DMK Press, 2022. – 154 p.
2. Anuchin A.S. Electric Drive Control Systems. – M. : MPEI Publishing House, 2015. – 373 p.
3. Usynin Yu.S. Automatic Control Theory : textbook for universities. – Chelyabinsk : South Ural State University Publishing Center, 2010. – 176 p.