

УДК 004.896

Использование нечеткого ПИД-регулятора для управления приводом манипулятора Puma-560

Сметанин С.А., студент

*Россия, 105005, г. Москва, МГТУ им. Н.Э. Баумана,
кафедра «Специальная робототехника и мехатроника»*

Никулин Э.Е., студент

*Россия, 105005, г. Москва, МГТУ им. Н.Э. Баумана,
кафедра «Специальная робототехника и мехатроника»*

*Научный руководитель: Рубцов В.И., к.т.н, профессор
Россия, 105005, г. Москва, МГТУ им. Н.Э. Баумана*

kafsm7@sm.bmstu.ru

1. Введение

В современных робототехнических системах, благодаря использованию микроконтроллеров, становится все более распространённым применение интеллектуальных систем управления, в частности нечеткой логики. Использование инструмента нечеткой логики позволяет получить качественный и плавный процесс движения робота. В работе подробно описывается методика проектирования системы автоматического управления: анализ системы, синтез и математическое моделирование и реализация системы.

2. Постановка задачи

Были поставлены следующие задачи: создание математической модели реального привода манипулятора; формирование нечеткого регулятора для управления двигателем манипуляционного робота PUMA-560, разработка алгоритма реализации корректирующего устройства с использованием нечеткой логики, моделирование синтезированного двигателя.

Данная задача будет решаться с помощью пакета MATLAB.

3. Составление структурной схемы, дифференциальных уравнений следящей системы и передаточной функции неизменяемой части



Рис. 1. Манипулятор Puma-560

В качестве исполнительного двигателя в системе используется двигатель постоянного тока независимого возбуждения. Структурная схема будет выглядеть следующим образом:

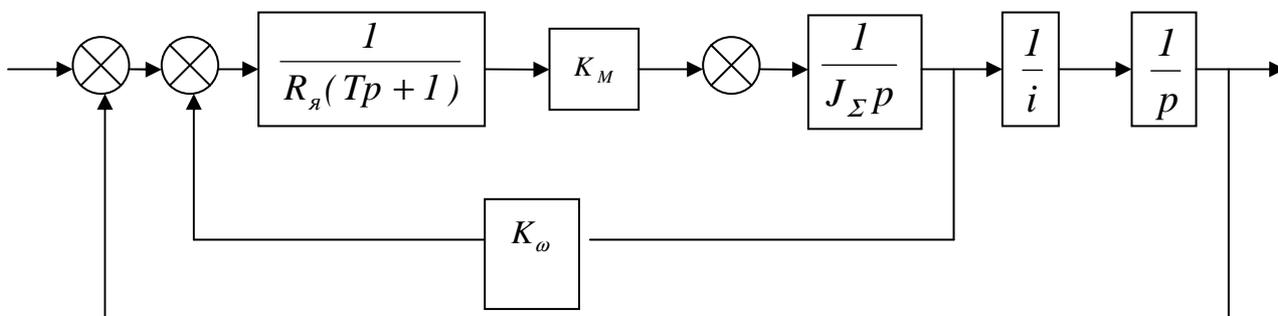


Рис. 2. Структурная схема

Используя структурную схему, составим в преобразованиях по Лапласу уравнения двигателя для определения передаточной функции следящей системы. [2]

Уравнение моментов на валу ИД:

$$M_{\text{дв}} = M_{\text{дин}} + M_{\text{тр}} + M_{\text{в.д}} \quad (1)$$

$$M_{\text{дин}} = J_{\Sigma} p^2 \alpha \quad (2)$$

$$M_{\text{тр}} = f p \alpha \quad (3)$$

$$M_{\text{дв}} = K_M i_{\text{я}} \quad (4)$$

Передаточная функция двигателя:

$$W_{\text{дв}} = \frac{\alpha(p)}{U_{\text{я}}(p)} = \frac{K_{\text{дв}}}{p(1 + 2\xi T_{\text{дв}} p + T_{\text{дв}}^2 p^2)} \quad (5)$$

4. Использование нечеткого ПИД-регулятора в качестве корректирующего устройства

4.1 Принцип построения ПИД регулятора на нечеткой логике

В качестве базовой структуры, формирующей сигнал управления для САУ, выбран пропорционально-интегрирующий-дифференцирующий регулятор (ПИД-регулятор).

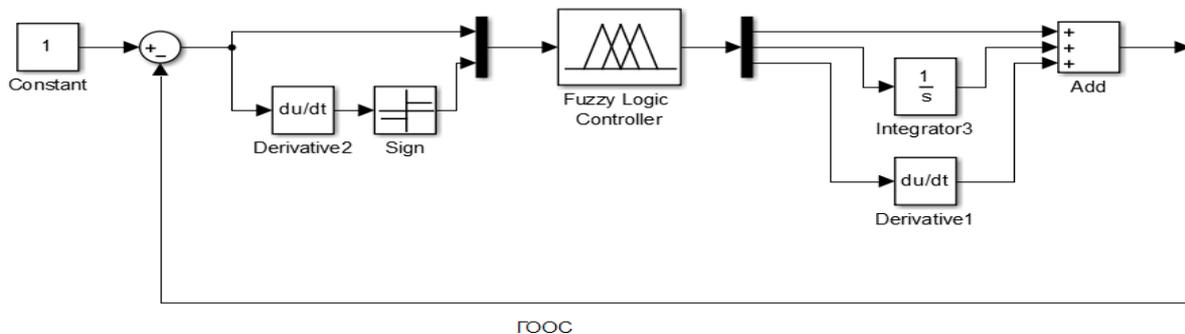


Рис. 3. Принципиальная схема ПИД-регулятора на нечеткой логике

Принципиальная схема ПИД-регулятора на нечеткой логике показана на рис 2. Как видно из этой схемы, сигнал, подаваемый на силовую часть цепи складывается из пропорциональной, интегральной и дифференциальной частей. Причем каждая из этих частей регулируется с помощью применения нечеткой логики в зависимости от двух входных переменных нечеткого блока: ошибки и производной от ошибки.

4.2 Настройка нечеткой логики

Сигнал широтно-импульсной модуляции (ШИМ), вырабатываемый ПИД-регулятором, определяется тремя компонентами:

K	Пропорциональная часть
K_i	Интегральная часть

<i>Kd</i>	Дифференциальная часть
-----------	------------------------

Так как коэффициенты ПИД регулятора меняются по нечеткой логике в зависимости от значений входных переменных, то настройка ПИД регулятора по сути сводится к настройке термов и базы знаний нечеткой логики. Но при этом оценка качества настройки нечеткой логики производится по характеристике переходного процесса на управляющее воздействие, как и в обычном ПИД-регуляторе. [1,3]

Отличие ПИД-регулятора с контроллером на нечеткой логике от обычного заключается в том, что коэффициенты усиления в пропорциональной и интегрирующей цепях регулятора не являются статическими – они зависят от состояния системы в текущий момент времени. Именно это отличие позволяет качественно изменить процесс управления, позволяя учитывать параметры сигналов в системе (скорость изменения сигнала, ускорение), и тем самым сделать процесс управления более адаптивным.

Мы считаем наиболее целесообразным в системе управления двигателем постоянного тока по скорости использовать для выбора коэффициентов усиления в регуляторе следующие параметры системы:

- ошибка по углу вращения выходного вала привода редуктора;
- знак скорости вращения выходного вала привода редуктора;

Определение логических переменных и их функций принадлежности

Входными сигналами для контроллера на нечеткой логике являются *Error* и *Velocity*. Применительно к контроллеру эти сигналы являются лингвистическими переменными. Для дальнейшего рассмотрения системы вводятся следующие термы для этих переменных: [1]

Лингвистическая переменная *Error* (ошибка по углу):

- очень малая (XS);
- малая (S);
- средняя (M);
- большая (L);
- очень большая (XL);

Лингвистическая переменная *Velocity* (знак скорости):

- сильно отрицательная (ENegative);
- отрицательная (Negative);
- нулевая (Zero);

- положительная (Positive);
- сильно положительная (EPositive);

Для этих выходных лингвистических переменных вводятся следующие термы:

Лингвистическая переменная Kp (напряжение в пропорциональной цепи):

- сильно уменьшенное (ESmall);
- несколько уменьшенное (Small);
- нормальное (Middle);
- несколько увеличенное (Large);
- сильно увеличенное (ELarge);

Лингвистическая переменная Ki (напряжение в интегрирующей цепи):

- большое прямое (EDirect);
- небольшое прямое (Direct);
- нулевое (Zero);
- небольшое обратное (Inverted);
- большое обратное (EInverted);

Лингвистическая переменная Kd (напряжение в дифференцирующей цепи):

- нуль (EZero);
- нулевое (Zero);
- половина (Half);
- максимальное (Pic);
- самое максимальное (EPic);

Для реализации процедуры фазификации и дефазификации, т.е. «превращения» конкретного числового значения входного сигнала в соответствующий терм и наоборот задаются функции принадлежности для каждой входной и выходной переменных.

Определение функций принадлежности – наиболее трудоемкий процесс, в наибольшей степени определяющий качество процесса управления системой. Так, для составления наиболее адекватной модели требуется не только знание характера поведения системы в целом, но и определенное число экспериментов, позволяющее определить недостатки нечеткой модели и устранить их, и, конечно, некоторый опыт построения таких систем.

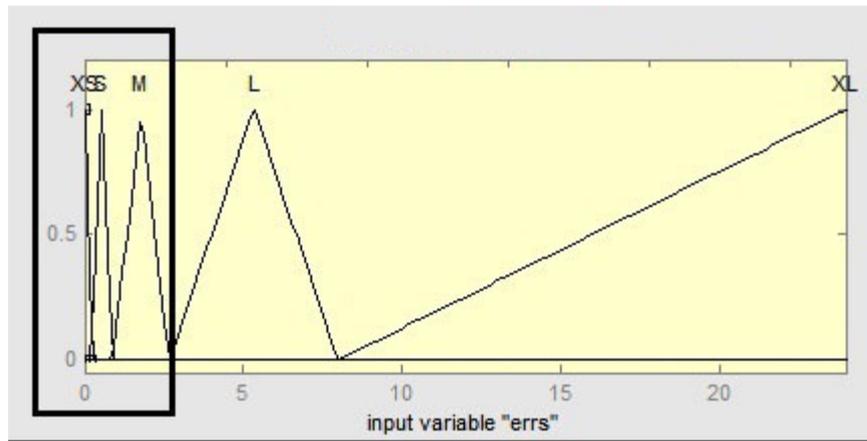


Рис. 4. Функции принадлежности для терм-множества лингвистической переменной *Error*

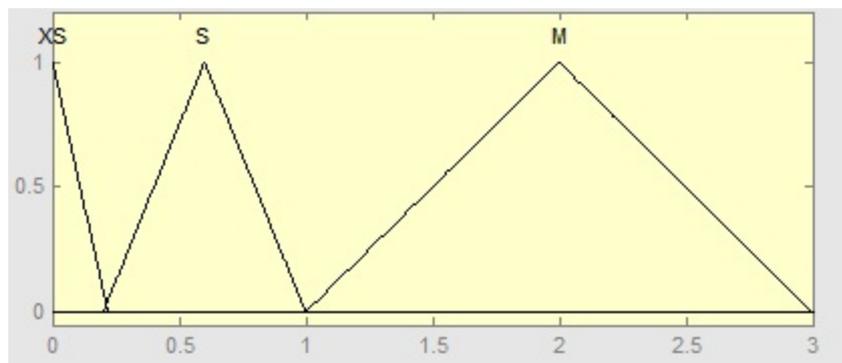


Рис. 5. Функции принадлежности для терм-множества лингвистической переменной *Error*
(в увеличенном масштабе)

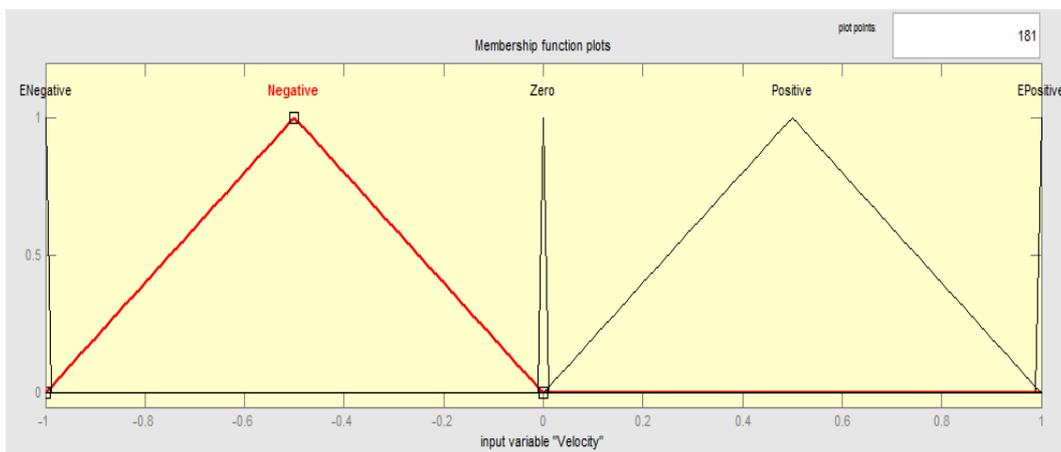


Рис. 6. Термы и функции принадлежности лингвистической переменной *Velocity*

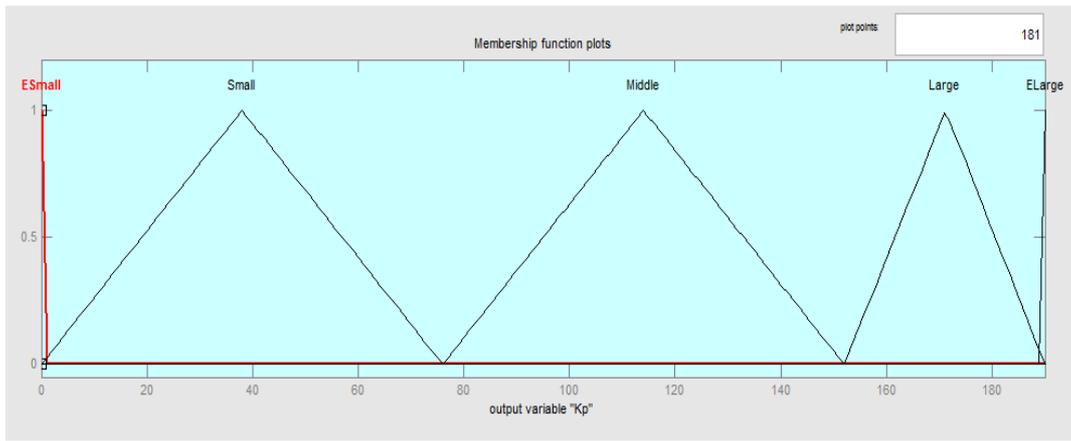


Рис. 7. Функции принадлежности для терм-множества лингвистической переменной K_p

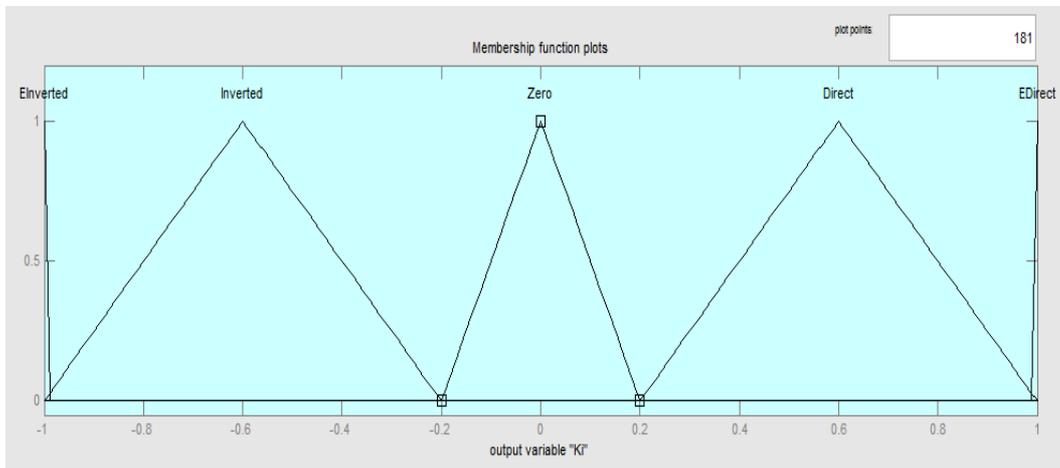


Рис. 8. Функции принадлежности для терм-множества лингвистической переменной K_i

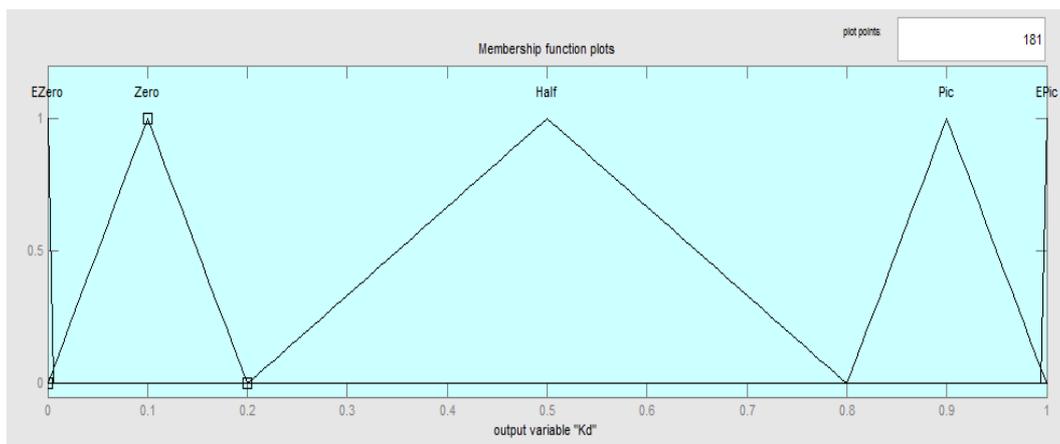


Рис. 9. Функции принадлежности для терм-множества лингвистической переменной K_d

Таким образом, имеются все необходимые данные для проведения процедур фазификации и дефазификации.

Формирование нечеткой базы знаний контроллера

Под нечеткой базой знаний подразумевается совокупность правил «Если – то», определяющих взаимосвязь между входными и выходными лингвистическими переменными контроллера. [1,3]

В исследуемой системе составляется взаимосвязь между двумя входными (*Error* и *Velocity*) и тремя выходными (*Kp*, *Ki* и *Kd*) лингвистическими переменными. При формировании нечеткой базы знаний контроллера также проводится ряд экспериментов с целью корректировки функций принадлежности лингвистических переменных.

Взаимосвязь между входными лингвистическими переменными и выходными лингвистическими переменными показана в таблице.

1. If (Error is XS) and (Velocity is Negative) then (Kp is Middle)(Ki is Direct)(Kd is Zero) (1)
2. If (Error is S) and (Velocity is Negative) then (Kp is Middle)(Ki is Direct)(Kd is Zero) (1)
3. If (Error is M) and (Velocity is Negative) then (Kp is Middle)(Ki is Direct)(Kd is Zero) (1)
4. If (Error is L) and (Velocity is Negative) then (Kp is Middle)(Ki is Direct)(Kd is Zero) (1)
5. If (Error is XL) and (Velocity is Negative) then (Kp is Middle)(Ki is Direct)(Kd is Zero) (1)
6. If (Error is XS) and (Velocity is Zero) then (Kp is ESmall)(Ki is EInverted)(Kd is EPic) (1)
7. If (Error is S) and (Velocity is Zero) then (Kp is ELarge)(Ki is EDirect)(Kd is EZero) (1)
8. If (Error is M) and (Velocity is Zero) then (Kp is ELarge)(Ki is EDirect)(Kd is EZero) (1)
9. If (Error is L) and (Velocity is Zero) then (Kp is ELarge)(Ki is EDirect)(Kd is EZero) (1)
10. If (Error is XL) and (Velocity is Zero) then (Kp is ELarge)(Ki is EDirect)(Kd is EZero) (1)
11. If (Error is XS) and (Velocity is Positive) then (Kp is Middle)(Ki is Direct)(Kd is Zero) (1)
12. If (Error is S) and (Velocity is Positive) then (Kp is Middle)(Ki is Direct)(Kd is Zero) (1)
13. If (Error is M) and (Velocity is Positive) then (Kp is Middle)(Ki is Direct)(Kd is Zero) (1)
14. If (Error is L) and (Velocity is Positive) then (Kp is Middle)(Ki is Direct)(Kd is Zero) (1)
15. If (Error is XL) and (Velocity is Positive) then (Kp is Middle)(Ki is Direct)(Kd is Zero) (1)
16. If (Error is XS) and (Velocity is ENegative) then (Kp is ESmall)(Ki is EInverted)(Kd is EZero) (1)
17. If (Error is S) and (Velocity is ENegative) then (Kp is ELarge)(Ki is EDirect)(Kd is EZero) (1)
18. If (Error is M) and (Velocity is ENegative) then (Kp is ELarge)(Ki is EDirect)(Kd is EZero) (1)
19. If (Error is L) and (Velocity is ENegative) then (Kp is ELarge)(Ki is EDirect)(Kd is EZero) (1)
20. If (Error is XL) and (Velocity is ENegative) then (Kp is ELarge)(Ki is EDirect)(Kd is EZero) (1)
21. If (Error is XS) and (Velocity is EPositive) then (Kp is ESmall)(Ki is EInverted)(Kd is EPic) (1)
22. If (Error is S) and (Velocity is EPositive) then (Kp is ELarge)(Ki is EDirect)(Kd is EZero) (1)
23. If (Error is M) and (Velocity is EPositive) then (Kp is ELarge)(Ki is EDirect)(Kd is EZero) (1)
24. If (Error is L) and (Velocity is EPositive) then (Kp is ELarge)(Ki is EDirect)(Kd is EZero) (1)
25. If (Error is XL) and (Velocity is EPositive) then (Kp is ELarge)(Ki is EDirect)(Kd is EZero) (1)

5. Моделирование синтезированного двигателя

Для моделирования мы выбрали привод плеча манипуляционного робота:

PUMA-560 — Tamagawa TN3053N

Определили передаточную функцию следящей системы. [2]

$$W_{\text{нч}}(p) = \frac{0.324}{p(0.0000297p^2 + 0.0076p + 1)}$$

Для моделирования составим структурную схему в пакете *Simulink*, представленную на рис. 10.

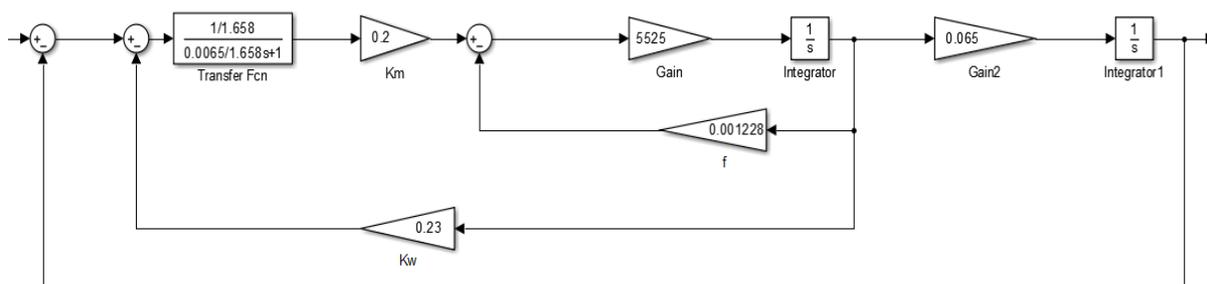


Рис. 10. Неизменяемая часть системы

Зададимся следующими требованиями к системе автоматического управления:

- время переходного процесса при реакции на ступенчатое воздействие:

$$t_{\text{п}}^{\text{треб}} \leq 0.125 \text{ с}$$

- перерегулирование:

$$\delta < 30\%$$

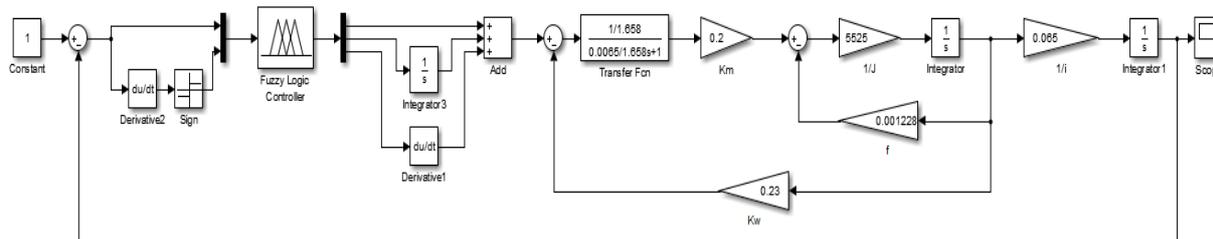


Рис. 11. Структурная схема

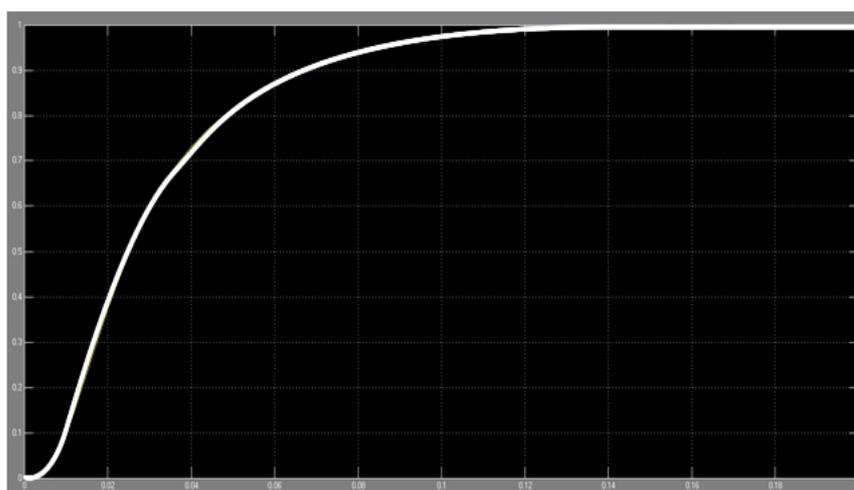


Рис. 12. Переходной процесс

6. Заключение

Перерегулирование:

Величина перерегулирования для САУ с регулятором составляет:

$$\delta < 5\%$$

Эта величина больше перерегулирования для системы без регулятора. Это обусловлено тем, что регулятор изначально проектировался для уменьшения времени переходного процесса системы. Как видно из сравнения этих величин – результат достигнут.

Время переходного процесса:

Из оценки графика на рис. 3.2. видно, что время переходного процесса уменьшилось и составляет величину:

$$T_{пп} = 0.125 \text{ сек.}$$

Уменьшение этой величины являлось основной задачей использования ПИД контроллера.

Нетрудно видеть, что введение в систему регулятора позволило достаточно сильно улучшить качество переходного процесса, а, вместе с тем, и всего процесса управления системой.

В работе был проведен анализ системы, синтез и математическое моделирование.

1. Была создана и промоделирована математическая модель двигателя;
 2. Сформирован нечеткий регулятор для управления двигателем манипуляционным роботом PUMA-560 для первого звена и разработан алгоритм реализации корректирующего устройства с использованием нечеткой логики;
 3. Промоделирован синтезированный двигатель;
- Было обеспечено:

1. Время переходного процесса при реакции на ступенчатое воздействие $t_{пп}^{треб} \leq 0.125\text{с.}$
2. Перерегулирование $\delta < 30\%$.

Список литературы

1. Лукинов А. П. Проектирование мехатронных и робототехнических устройств: учебное пособие. СПб.: Лань, 2012. 608 с.
2. Кремлев А.С., Зименко К.А., Боргуль А.С. Моделирование и программирование робототехнических комплексов: учебное пособие. СПб.: НИУ ИТМО, 2013. 136 с.

3. Бураков М.В. Нечеткие регуляторы: учебное пособие. СПб: Из-во ГУАП, 2010. 237с.
4. Рутковский Л. Методы и технологии искусственного интеллекта. М.: Горячая линия Телеком, 2010. 520 с.
5. Машков К.Ю., Рубцов В.И., Рубцов И.В. Состав и характеристики мобильных роботов. М.: МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2014. 73 с.