

4. Лыкин А.В. Энергосбережение и повышение энергетической эффективности в электрических сетях. Новосибирск: Новосибирский государственный технический университет, 2013, 115 с.
5. Гибридные и сетевые солнечные энергосистемы. URL: <https://s-ways.ru/products/gibridnye-solnechnye-energосистемы/> (дата обращения 12.04.2020)
6. Программа установившегося режима электрической системы (RS-3), зарегистрирована в государственном реестре регистрации программ для ЭВМ России, свидетельство № 2013613725. Авторы: А.А. Виноградов, Г.С. Середин. 2013 г.
7. Krainov A.V. Energy Supply Systems of Mining Industry: textbook/ Krainov A.V., Pashkov E.N.—Томск: Томский политехнический университет, 2014. —167 с.
8. Аль-Баирмани Али Ганим Мохсин. «Применение распределенной солнечной генерации в системе электроснабжения Ирака». Магистерская дисс., Белгород, БГТУ им. В.Г. Шухова, 2016, 67 с.

Ван Лянь (Китай),
Дун Бо (Китай),

Скороспешкин Максим Владимирович (Россия)

Томский политехнический университет, г. Томск

Научный руководитель: Скороспешкин Максим Владимирович,
канд. техн. наук, доцент

НЕЧЕТКИЙ АДАПТИВНЫЙ ПИД-РЕГУЛЯТОР

Введение

В промышленном управлении ПИД-регулирование является наиболее часто используемым методом управления. Однако, у него есть определенные ограничения: когда объект управления является нестационарным и его параметры меняются с течением времени, то ПИД-регулятор может не обеспечить приемлемого качества регулирования. Для управления таким объектом можно использовать метод нечеткого управления.

Теоретическая часть

Нечеткое управление позволяет формализовать и моделировать человеческий опыт с помощью нечеткой логики и методов приближенного рассуждения. Нечеткие рассуждения осуществляются по полученным языковым правилам управления, задается нечеткая формула суждения о

выходе и преобразуется в точное значение в качестве управляющего воздействия, подаваемого на управляемый объект. Таблица нечеткого управления является выражением алгоритма нечеткого управления в вычислительной машине, который определяется количеством входов и выходов, функцией принадлежности и правилами управления [1].

Нечеткие правила управления обычно имеют следующий вид:

Если $\{e=A_i \text{ и } de/dt = B_i\}$, то $u = C_i$, $i = 1, 2, \dots$, где e , de/dt и u – лингвистические переменные: ошибки, производной от ошибки и управляющего воздействия соответственно, и A_i , B_i , C_i – значение соответствующей функции принадлежности.

Для управления нестационарным объектом предлагается использовать адаптивный нечеткий ПИД-регулятор, который построен на базе ПИД-алгоритма. Структурная схема регулятора представлена на рисунке 1.

Регулятор работает следующим образом: В блок нечеткой логики поступают лингвистические переменные: ошибка регулирования e и производная от ошибки de/dt . Далее в соответствии со значениями функций принадлежности лингвистических переменных и применения базы правил формируются значения коэффициентов ПИД-регулятора (K_p , K_i , K_d).

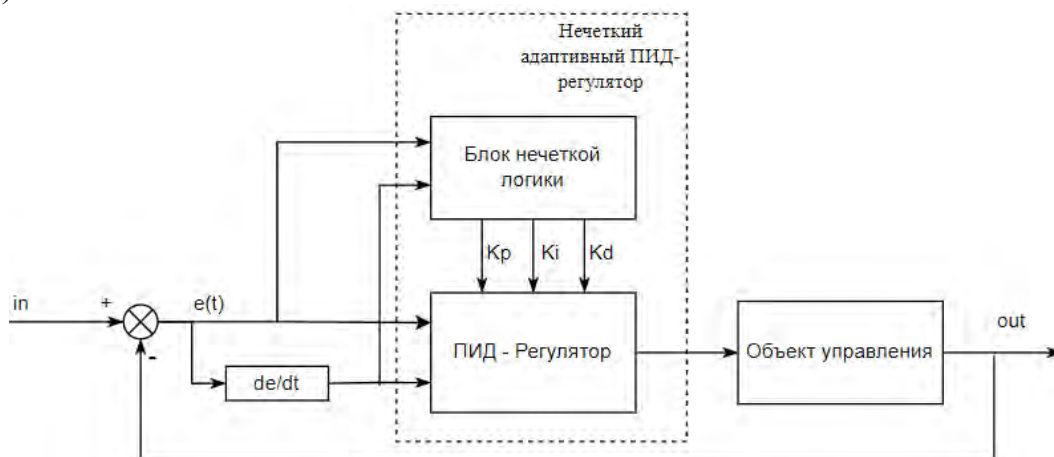


Рисунок 1 – Структурная схема адаптивного нечеткого ПИД регулятора

Нечеткая самонастройка ПИД-регулятора заключается в соответствии нечеткой зависимости между параметрами ПИД (K_p , K_i , K_d) и e , de/dt . Во время работы в блок нечеткой логики в режиме реального времени поступают текущие значения e и de/dt , и в соответствии с заданными типами и значениями функций принадлежности входных и выходных переменных и заданной базой правил, происходит формирование четких значений параметров ПИД-регулятора (K_p , K_i , K_d). Функции принадлежности и база правил заданы таким образом, что при изменении па-

раметра объекта управления в определенных пределах, система автоматического управления остается устойчивой и имеет приемлемое качество. Суть нечеткого управления состоит в том, чтобы обобщить теоретический и практический опыт инженеров-проектировщиков, чтобы создать подходящую базу нечетких правил и получить таблицу нечетких правил, которая задается для трех параметров ПИД-регулятора K_p , K_i , K_d соответственно [2].

Экспериментальная часть

Для того, чтобы сравнить эффективность работы адаптивного нечеткого ПИД-регулятора и классического ПИД-регулятора, была разработана модель в системе *MatLab*, представленная на рисунке 2 [3].

На модели системы управления, представленной на рисунке 2 объект управления в системах с классическим ПИД-регулятором и адаптивным нечетким ПИД-регулятором является одинаковым и задается передаточной функцией:

$$W(s) = \frac{1}{Ts^2 + s + 1}$$

При первоначальном включении системы в работу параметр T объекта управления в обеих системах равен 1.

Параметры классического ПИД-регулятора имеют следующие значения: $K_p=2$, $K_i=0.7$, $K_d=5$ и остаются неизменными.

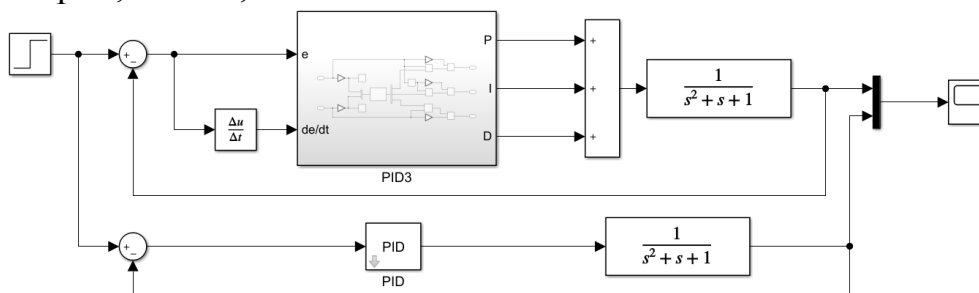


Рисунок 2 – Модель системы управления в *MatLab*

Модель подсистемы управления PID3, представлена на рисунке 3.

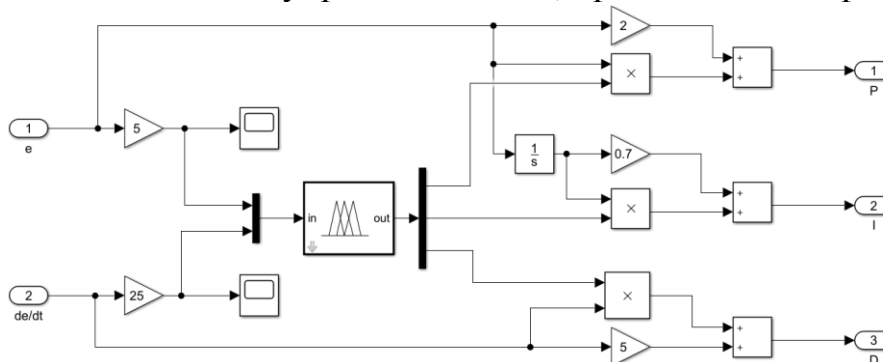


Рисунок 3 – Модель подсистемы управления (PID3)

Модель подсистемы управления PID, представлена на рисунке 4.

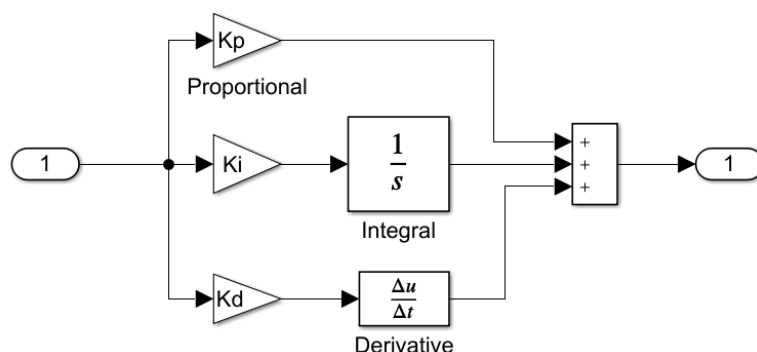


Рисунок 4 – Модель подсистемы управления (PID)

Кривые переходных процессов при $T=1$, представлены на рисунке 5.

Из рисунка видно, что качество управления обеих систем примерно одинаковое и удовлетворительное.

При изменении параметра объекта управления T в диапазоне от 1 до 100 с., классический ПИД-регулятор уже не обеспечивает удовлетворительного качества переходного процесса и на значении параметра объекта управления $T=26$ с., система с классическим ПИД-регулятором становится неустойчивой. При этом, адаптивный нечеткий ПИД-регулятор является устойчивым и обеспечивает удовлетворительное качество управления даже на значении параметра объекта управления $T=100$ с., что можно увидеть на рисунках 6,7.

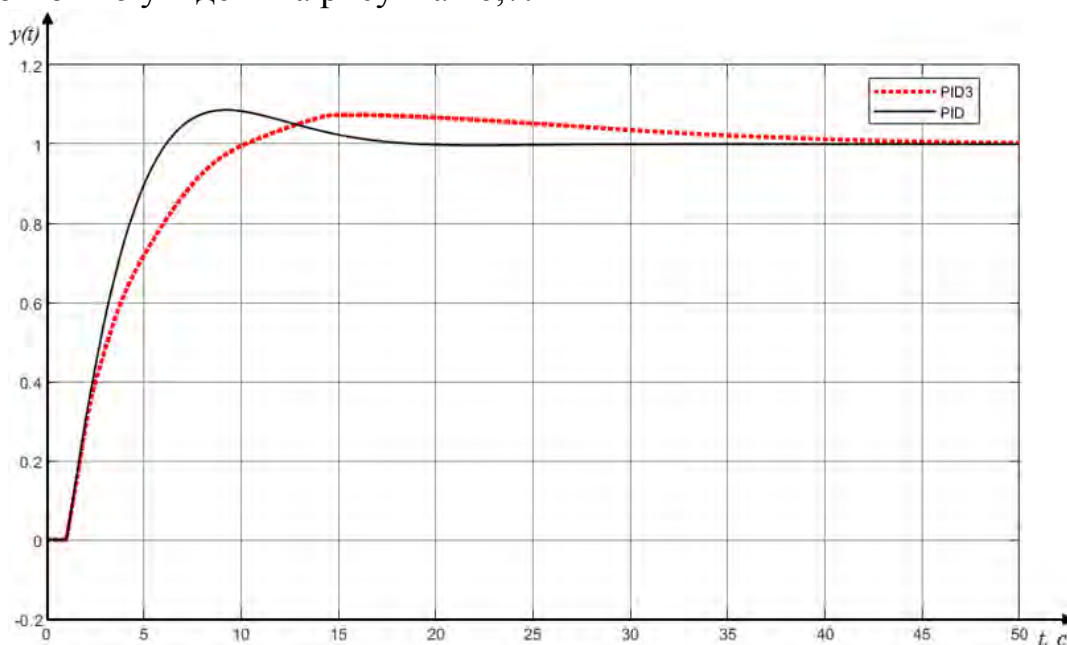


Рисунок 5 – Кривые переходных процессов, при $T=1$ с.

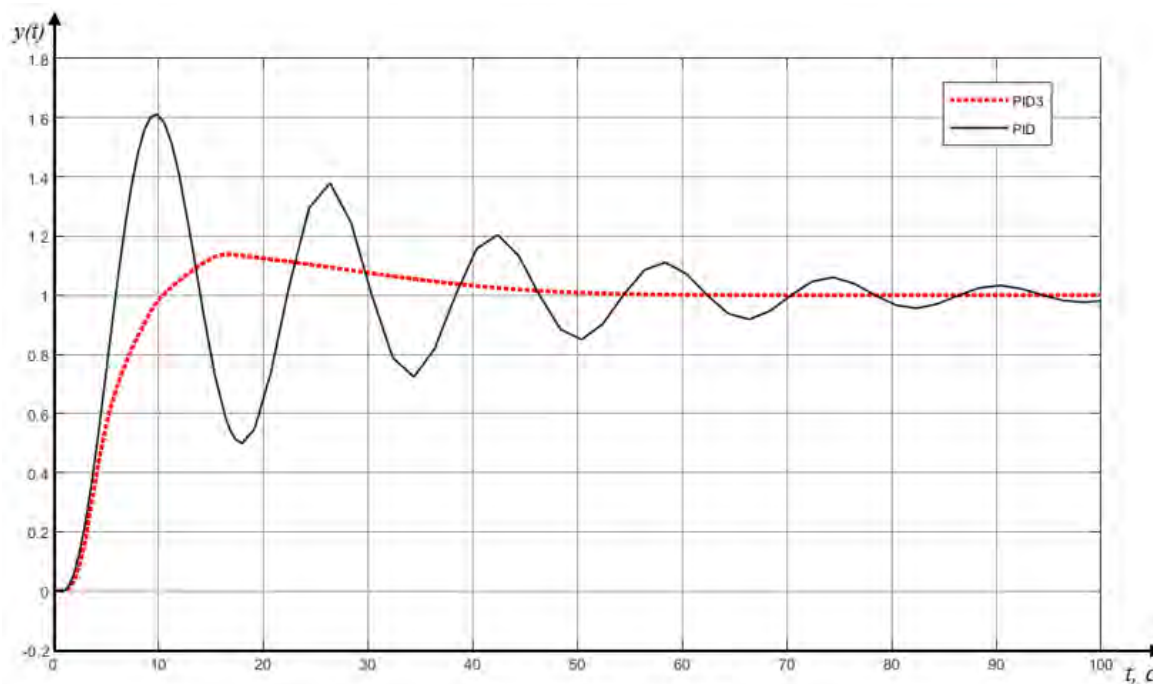


Рисунок 6 – Кривые переходных процессов, при $T=20\text{с}$.

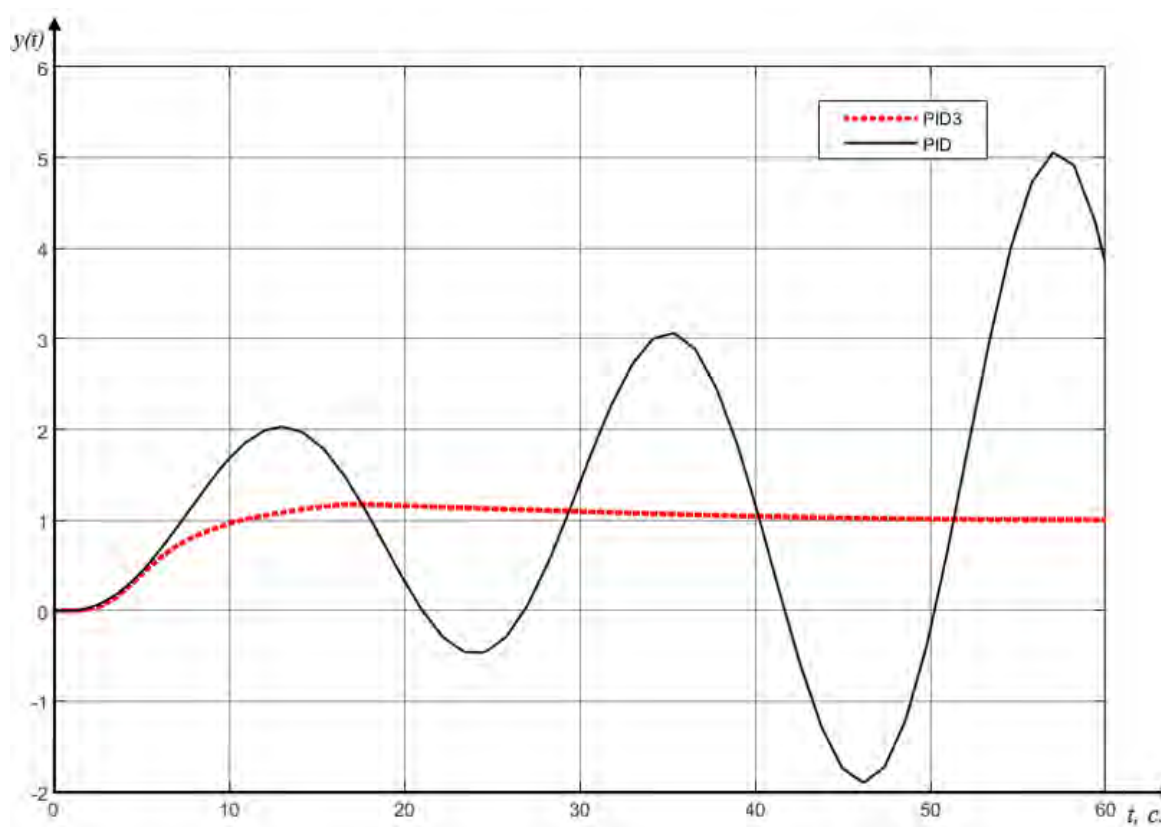


Рисунок 7 – Кривые переходных процессов, при $T=45\text{с}$.

Заключение

По результатам моделирования можно сделать вывод что адаптивный нечеткий регулятор является работоспособным, при изменении параметра T объекта управления в широких пределах, и обеспечивает удовлетворительное качество регулирования. При этом классический ПИД-регулятор работает лишь в небольшом диапазоне изменения параметра T объекта управления.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Что такое нечеткая логика? // сайт «MathWorks». – 2021. – URL: <https://ww2.mathworks.cn/help/fuzzy/what-is-fuzzy-logic.html> (дата обращения: 19.03.2022).
2. Подробные шаги моделирования системы нечеткой логики (Simulink) // сайт «jingyan.baidu.com». – 2021. – URL: <https://jingyan.baidu.com/article/851fbc37ef05463e1f15ab20.html> (дата обращения: 19.03.2022).
3. Теория автоматического управления Inc. 2020. [Электронный ресурс]. Режим доступа: URL: https://portal.tpu.ru/SHARED/t/TRIGUB/academic/Tab/INK_VADUT_OV_TRIGUB.pdf (дата обращения: 19.03.2022).

Ван Синьсинь (Китай)

Томский политехнический университет, г. Томск

Научный руководитель: Божко Ирина Александровна,
канд. физ.-мат. наук, доцент ИШНПТ

ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ НАНОЧАСТИЦ ZNO НА ФАЗОВЫЙ СОСТАВ ПРОДУКТОВ КОРРОЗИИ СТАЛИ У8А

Введение

Одним из наиболее эффективных, экономичных и экологически безопасных способов защиты от коррозии является использование многофункциональных органических ингибиторов с добавлением нанопорошка. Исследования доказали, что эти ингибиторы коррозии могут эффективно замедлять скорость коррозии стали [1]. Однако результаты исследования фазового состава продуктов коррозии стали и влияния ингибиторов коррозии на ее микроструктуру и фазовый состав в литературе отсутствуют.