

МОДЕЛИРОВАНИЕ И СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ РАБОТЫ КЛАССИЧЕСКОГО И НЕЧЕТКОГО ПИД-КОНТРОЛЛЕРОВ В АВТОМАТИЧЕСКИХ СИСТЕМАХ УПРАВЛЕНИЯ

Аннотация: Описаны модели классического и нечеткого ПИД-контроллеров и модели АСУ с использованием этих контроллеров. Проведен сравнительный анализ переходных характеристик АСУ и подтверждена их эквивалентность. Моделирование выполнено с использованием программного обеспечения DynStar, разработанного в Институте автоматизации и измерительной техники, г. Циттау, Германия.

Ключевые слова: нечеткий контроллер, синтез модели нечеткого контроллера, лингвистические переменные, переходные характеристики, характеристическое поле нечеткого ПИД-контроллера.

Введение

Как известно, контроллер обеспечивает перевод автоматической системы из одного (начального) установившегося состояния в другое (конечное) состояние в соответствии с алгоритмом управления. Стратегия управления достигает трёх целей:

не допускать никаких значительных ошибок (отклонений от значения управляемого параметра, соответствующего настройкам контроллера) в процессе управления;

не допускать выхода управляемого параметра за пределы, установленные пользователем, и возможностями системы в целом;

вырабатывать плавное управляющее воздействие, т. е. незначительные колебания управляемого параметра в области настроечных параметров контроллера не должны приводить к дополнительным управляющим воздействиям.

Эти три цели не могут быть совместно достигнуты с помощью классических П-, ПИ-, ПИД- контроллеров без дополнительных логических устройств.

С другой стороны - опытный оператор может достичь этих целей достаточно легко.

Использование опыта и знания экспертов при синтезе нечетких контроллеров на основе классических П-, ПИ-, ПИД- законов регулирования и исследование переходных характеристик контроллеров является важной задачей для синтеза нечетких контроллеров, способных успешно достигать вышеуказанных целей стратегии управления.

Постановка задачи

Показать идентичность действий классического ПИД-контроллера, для оперативной перестройки которого используется опыт эксперта, и нечеткого ПИД-контроллера, использующего в процессе управления нечеткую базу знаний.

1. Расчет параметров управляемого об'екта и определение его структуры

Для решения поставленной задачи использовано программное обеспечение DynStar [4], позволившее выполнить моделирование и программирование классических и нечетких алгоритмов управления. Для проверки идентичности действия на управляемый об'ект (УО) классического ПИД-контроллера и нечеткого ПИД-контроллера в качестве УО исследуется канал регулирования: расход топлива – давление свежего пара в котле ТЭС [3], переходная характеристика которого представлена на рис. 1.

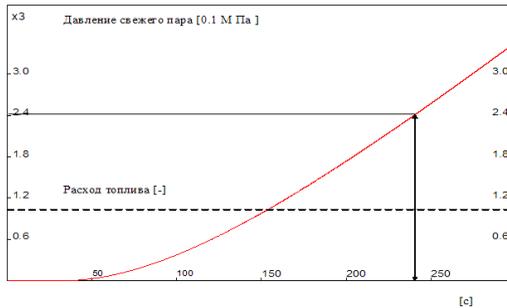


Рис. 1 – Переходная характеристика УО по каналу регулирования: расход топлива – давление свежего пара в котле ТЭС

Модель управляемого об'екта (УО) по каналу регулирования представлена на рис. 2. Параметры канала регулирования рассчитывались по известной методике [5].

Результаты расчета следующие:

$T_{иyo} = 54$ с – время интегрирования, $K_{yo} = 0.0164$ – коэффициент передачи.

Модель замкнутой АСУ с классическим контроллером представлена на рис. 3.

2. Моделирование классического ПИД – контроллера и расчет его параметров

Алгоритмическая структурная схема классического ПИД – контроллера в DynStar может быть представлена моделями с последовательно и параллельно включенным интегратором (соответственно варианты 1

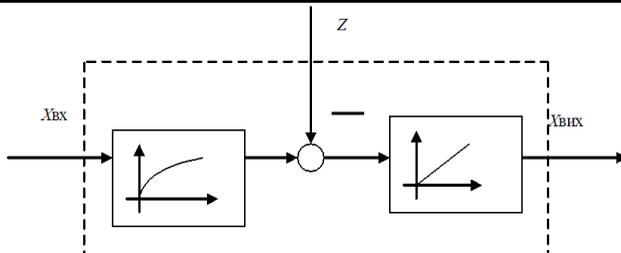


Рис. 2 – Модель УО по каналу регулирования.

$X_{вх}$, $X_{вых}$, z – величины, моделирующие расход топлива для получения свежего пара, давление свежего пара и возмущающее воздействие - ступенчатое изменение расхода топлива

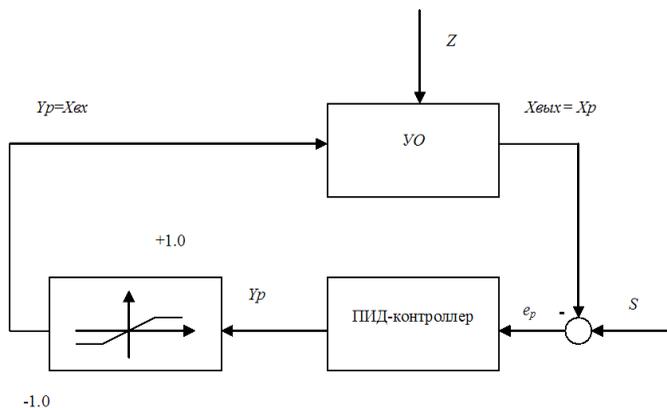


Рис. 3 – Модель АСУ с классическим ПИД- контроллером S , e_p , Y_p , – задание, рассогласование и выход классического ПИД-контроллера.

и 2). На рис. 4 представлена модель с последовательно включенным интегратором (вариант 1).

3. Расчет параметров классического ПИД – контроллера в замкнутой АСУ для заданного УО

$$K_{кл} = 0.4 \cdot (K_{уо} T_{u_{уо}}) = 0.451;$$

$$T_{икл} = 3.2 T_{u_{уо}} = 172.8 \text{ с};$$

$$T_{дкл} = 0.8 T_{u_{уо}} = 43.2 \text{ с}$$

где, $K_{кл}$, $T_{икл}$, $T_{дкл}$ – коэффициент передачи, время интегрирования и время дифференцирования для модели классического ПИД - контроллера, рассчитанные по известной методике [5].

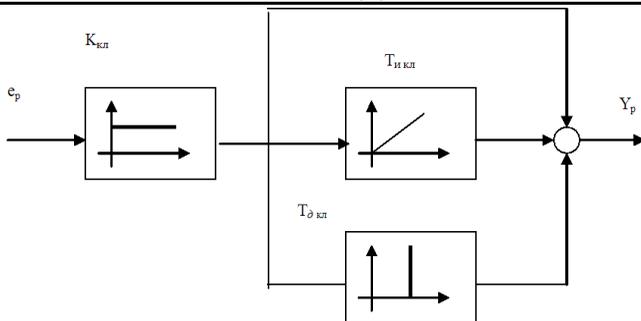


Рис. 4 – Модель классического ПИД – контроллера с последовательно включенным интегратором (вариант 1).

4. Синтез нечеткого ПИД – контроллера

4.1 Определение структуры и параметров нечеткого ПИД – контроллера.

Аналогично для нечеткого ПИД - контроллера модель замкнутой АСУ представлена на рис. 5.

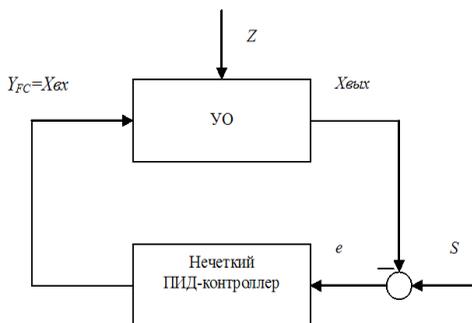


Рис. 5 – Модель замкнутой АСУ с нечетким ПИД-контроллером, e – рас-
согласование, Y_{FC} – выход нечеткого ПИД- контроллера.

Процесс синтеза модели нечеткого ПИД – контроллера представлен на рис.6, где показано, что если в качестве модели классического ПИД – контроллера выбрать вариант 2 (рис.6а), т.е. модель с параллельно включенным интегратором, то можно ограничиться заменой ПД – составляющей классического ПИД – контроллера на нечеткий ПД – контроллер (рис.6б), что является достаточным, чтобы получить эквивалентные изменения на выходе классического и нечеткого ПИД – контроллера (рис. 6в):

4.2 Расчет параметров классического ПИД – контроллера для варианта 2, т.е. с параллельно включенным интегратором.

Пересчет параметров для варианта 2 осуществляется по известной методике [5]:

$$K = K_{к.л} = 0.451;$$

$$T_i = T_{и.к.л}/K_{к.л} = 383.149 \text{ с};$$

$$T_d = T_{д.к.л}K_{к.л} = 19.483 \text{ с}$$

4.3 Формирование лингвистических переменных для нечеткого ПИД – контроллера.

Рассчитывается область изменения лингвистических переменных e , de , u .

$$u = -1... + 1;$$

$$e = -u/K... + u/K = -2, 217... + 2, 217;$$

$$de = -u/T_d... + u/T_d = -0, 0513... + 0, 0513$$

Сформированные лингвистические переменные [1] e , de , u представлены на рис.7

5. Сравнительный анализ переходных характеристик замкнутых АСУ с классическим ПИД – контроллером и нечетким ПИД – контроллером, полученных с использованием операторов SUM- ПРОДУКТ и MAX-MIN для преобразования базы регулирования

Моделирование эксперимента проводилось с использованием программного обеспечения DynStar [4], для чего составлена программа “compare.dyn” при таких условиях :

- задающее воздействие $S=1$ наносится в момент времени $t=100\text{с}$;
- возмущающее воздействие $Z=0.2$ наносится в момент времени $t=1000\text{с}$.

Результаты, полученные для АСУ с классическим ПИД – контроллером и нечетким ПИД - контроллером, показаны на рис.8, 9а, 9б (inference operator SUM-ПРОДУКТ) и на рис.10, 11а, 11б (inference operator MAX-MIN)..

Результаты решения задачи

В процессе выполнения работы решены следующие задачи:

По заданной переходной характеристике управляемого объекта (УО) рассчитаны его параметры и определена структура.

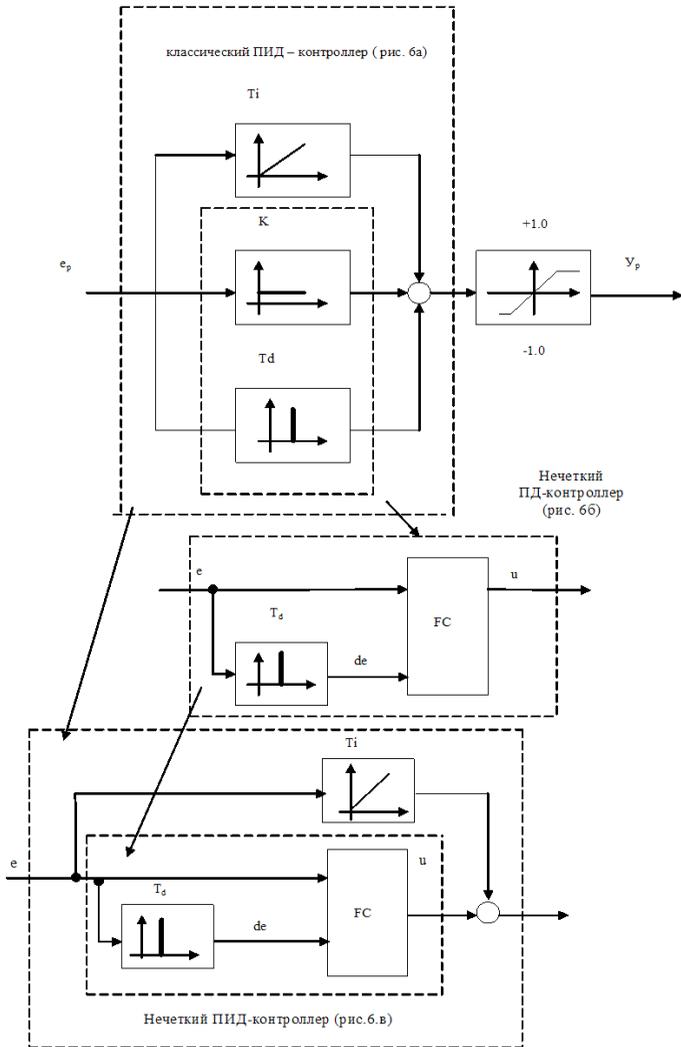


Рис. 6 – Рисунок 6. Синтез модели нечеткого ПИД-контроллера: а) модель классического ПИД – контроллера с параллельно включенным интегратором; б) модель нечеткого ПД – контроллера, где de – скорость изменения рассогласования e и u – выход нечеткого ПД – контроллера; в) модель нечеткого ПИД – контроллера.

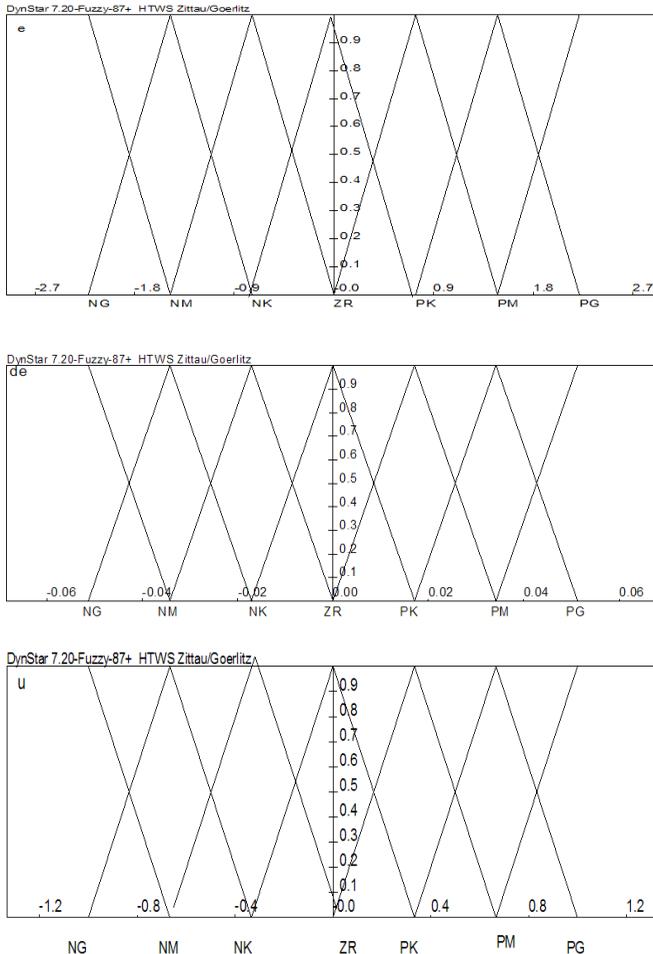


Рис. 7 – Нечеткие множества для лингвистических переменных e , de , u .

Составлена модель классического ПИД-контроллера. Рассчитаны параметры классического ПИД- контроллера в замкнутой АСУ для заданного УО.

Аналогично для нечеткого ПИД- контроллера: синтезирована его структура, рассчитаны параметры и сформированы лингвистические переменные для заданного УО.

Проведен сравнительный анализ полученных переходных характеристик замкнутых АСУ с классическим ПИД- контроллером и с нечетким ПИД- контроллером.

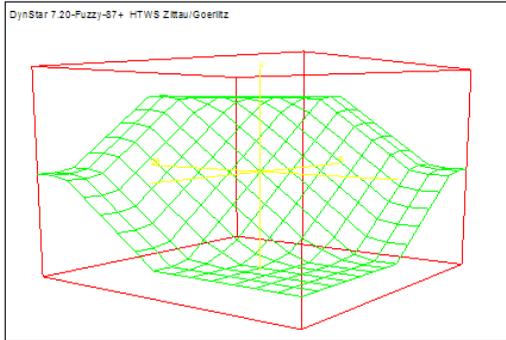


Рис. 8 – Характеристическое поле нечеткого ПИД-контроллера (с использованием оператора SUM-PRODUKT для преобразования базы регулирования (Inference operator)).

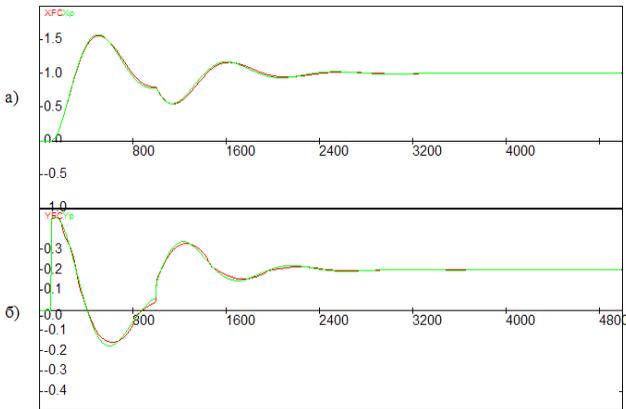


Рис. 9 – а) Переходные характеристики АСУ с классическим ПИД – контроллером (Хр) и нечетким ПИД – контроллером (ХФС) (с использованием оператора SUM-PRODUKT для преобразования базы регулирования (Inference operator));

Исследовано влияние различных операторов нечеткого вывода (Inference operators) на переходную характеристику АСУ с использованием нечеткого ПИД- контроллера.

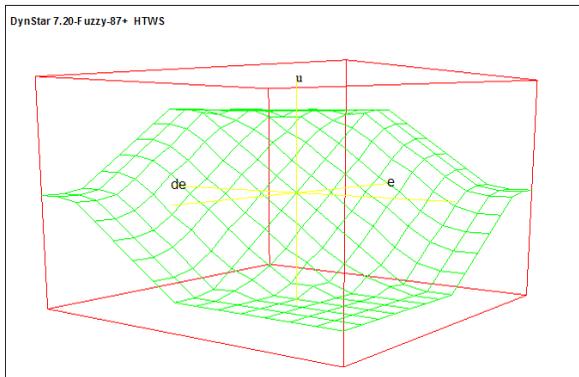


Рис. 10 – Характеристическое поле нечеткого ПИД-контроллера (с использованием оператора МАХ-МІН Рис. 8. Характеристическое поле нечеткого ПИД-контроллера (с использованием оператора SUM-PRODUKT для преобразования базы регулирования (Inference operator)).

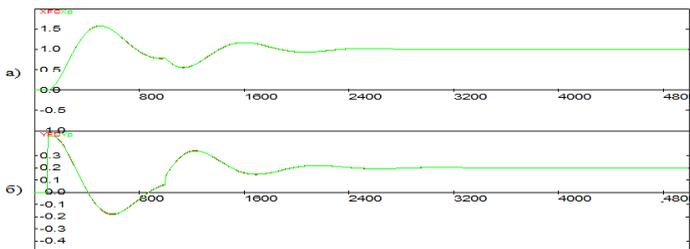


Рис. 11 – а) Переходные характеристики АСР с классическим ПИД-контроллером (Xp) и нечетким ПИД – контроллером (Xf) (с использованием оператора МАХ-МІН для преобразования базы регулирования (Inference operator)); б) Изменение выходных величин с классическим ПИД – регулятором (Yp) и нечетким ПИД - регулятором (Yf) (с использованием оператора МАХ-МІН для преобразования базы регулирования (Inference operator)).

Выводы

Проведенные исследования подтвердили, что для замкнутых АСУ с классическим ПИД – контроллером возможно рассчитать такой нечеткий

ПИД-контроллер, который будет давать эквивалентную переходную характеристику АСУ, т.е. это означает, что в данном случае можно провести эквивалентную замену классического на нечеткий ПИД - контроллер.

Были также проведены исследования влияния разных операторов для преобразования базы регулирования (Inference operator) (МАХ-MIN и SUM-ПРОДУКТ), которые показали, что влияние этих операторов на переходную характеристику незначительное, но для данной задачи больше подходит оператор Sum-Produkt, который дает отличное совпадение переходных характеристик замкнутой АСУ и выходных характеристик контроллеров.

Литература

1. Леоненков А.В. Нечеткое моделирование в среде MATLAB и fuzzyTECH.- СПб.:БХВ-Петербург, 2003. - 736 с.: ил.
2. Нечеткие множества в моделях управления и искусственного интеллекта/ Под. Ред. Д.А.Поспелова. - М.:Наука,1986. - 312 с.
3. Pivonka P., Breijl M. Use of Fuzzy PID controllers in Fuzzy on trol of coal power plants. - Proceedings of the Fuzzy Conference “Fuzzy Logic in Engineering and Natural Sciences”. Zittau, 1996, pp. 441-448.
4. Dokumentetion fur das Simulationssystem DynStar Version 7.22, Dez. 1997. - 297.
5. Lutz H., Wendt W. Taschenbuch der Regelungstechnik. Verlag Harry Deutsch, Frankfurt a. M., 1995, - 665.

Отримано 04.04.2012 р.