

Министерство образования и науки Российской Федерации
федеральное государственное автономное образовательное учреждение
высшего образования
**«НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ
ТОМСКИЙ ПОЛИТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»**

Институт кибернетики
Направление подготовки управление в технических системах
Кафедра автоматизации и компьютерных систем

МАГИСТЕРСКАЯ ДИССЕРТАЦИЯ

Тема работы
Разработка и программная реализация на промышленном микропроцессорном контроллере SIMATIC S7-400 нечеткого псевдолинейного регулятора

УДК 65.011.56

Студент

Группа	ФИО	Подпись	Дата
8AM41	Очиров Владислав Викторович		

Руководитель

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент кафедры АИКС	Скороспешкин М.В.	к.т.н.		

КОНСУЛЬТАНТЫ:

По разделу «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент кафедры менеджмента	Конотопский В.Ю.	к.э.н.		

По разделу «Социальная ответственность»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент кафедры ЭБЖ	Анищенко Ю.В.	к.т.н.		

ДОПУСТИТЬ К ЗАЩИТЕ:

Зав. кафедрой	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
АИКС ИК	Фадеев А.С.	к.т.н.		

Томск – 2016 г.

Планируемые результаты обучения по направлению

27.04.04 «Управление в технических системах»

	Результаты
1	Применять глубокие естественнонаучные и математические знания для решения научных и инженерных задач в области анализа, синтеза, проектирования, производства и эксплуатации средств автоматизации и систем управления техническими объектами.
2	Уметь обрабатывать, анализировать и обобщать научно-техническую информацию, передовой отечественный и зарубежный опыт в области теории, проектирования, производства и эксплуатации средств автоматизации и систем управления техническими объектами
3	Ставить и решать инновационные задачи инженерного анализа, связанные с разработкой технических систем управления с использованием аналитических методов и сложных моделей.
4	Выполнять инновационные инженерные проекты по разработке программно-аппаратных средств автоматизированных систем различного назначения с использованием современных методов проектирования, систем автоматизированного проектирования, передового опыта разработки конкурентно способных изделий.
5	Планировать и проводить теоретические и экспериментальные исследования в области проектирования аппаратных и программных средств автоматизированных систем с использованием новейших достижений науки и техники, передового отечественного и зарубежного опыта. Критически оценивать полученные данные и делать выводы.
6	Осуществлять авторское сопровождение процессов проектирования, внедрения и эксплуатации программно-аппаратных средств автоматизированных систем различного назначения.
7	Владеть иностранным языком на уровне, позволяющем работать в интернациональной профессиональной среде с пониманием культурных, языковых и социально-экономических различий партнеров
8	Осуществлять коммуникации в профессиональной среде и в обществе в целом, активно владеть иностранным языком, разрабатывать документацию, презентовать и защищать результаты инновационной инженерной деятельности, в том числе на иностранном языке.
9	Эффективно работать индивидуально и в качестве члена и руководителя группы, в том числе междисциплинарной и международной, при решении инновационных инженерных задач.
10	Демонстрировать личную ответственность и ответственность за работу возглавляемого коллектива, приверженность и готовность следовать профессиональной этике и нормам ведения инновационной инженерной деятельности. Демонстрировать глубокие знания правовых, социальных, экологических и культурных аспектов инновационной инженерной деятельности.
11	Демонстрировать способность к самостоятельному обучению, непрерывному самосовершенствованию в инженерной деятельности, способность к педагогической деятельности.

**МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РОССИЙСКОЙ
ФЕДЕРАЦИИ**

федеральное государственное автономное образовательное
учреждение высшего образования
**«НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ
ТОМСКИЙ ПОЛИТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»**

Институт кибернетики
Направление подготовки управление в технических системах
Кафедра автоматизации и компьютерных систем

УТВЕРЖДАЮ:
Зав. кафедрой

(Подпись) (Дата) (Ф.И.О.)

ЗАДАНИЕ

на выполнение выпускной квалификационной работы

В форме:

Магистерской диссертации

(бакалаврской работы, дипломного проекта/работы, магистерской диссертации)

Студенту:

Группа	ФИО
8AM41	Очиров Владислав Викторович

Тема работы:

Индуктивный преобразователь перемещения в задаче позиционирования движущегося объекта	
Утверждена приказом директора (дата, номер)	№ 701/с от 04.02.2016 г.

Срок сдачи студентом выполненной работы:	31.05.2016
--	------------

ТЕХНИЧЕСКОЕ ЗАДАНИЕ:

Исходные данные к работе	Нечеткая логика, нечеткий псевдолинейный ПИД - регулятор, контроллер SIMATIC S7-400, система программирования STEP7, лабораторный стенд.
--------------------------	--

<p>Перечень подлежащих исследованию, проектированию и разработке вопросов</p>	<p>Анализ существующих корректирующих устройств систем автоматического регулирования и принципов построения адаптивных систем;</p> <p>Исследование свойств псевдолинейного двухканального корректирующего устройства и систем управления с данным корректирующим устройством в ППП MathCad и MatLab;</p> <p>Программная реализация нечеткого псевдолинейного ПИД - регулятора SIMATIC S7-400;</p> <p>Программно-методическое обеспечение для выполнения лабораторной работы «Изучение псевдолинейного регулятора»</p>
<p>Перечень графического материала</p>	<p>Презентация в формате *.ppt на 15 слайдах</p>

Консультанты по разделам выпускной квалификационной работы

Раздел	Консультант
<p>Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение</p>	<p>Доцент кафедры менеджмента, к.э.н. Конотопский В.Ю.</p>
<p>Социальная ответственность</p>	<p>Доцент кафедры ЭБЖ, к.т.н. Анищенко Ю. В.</p>

Названия разделов, которые должны быть написаны на русском и иностранном языках:

Объект и методы исследования

<p>Дата выдачи задания на выполнение выпускной квалификационной работы по линейному графику</p>	<p align="center">25.09.2015</p>
--	----------------------------------

Задание выдал руководитель:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
<p>Доцент кафедры АИКС ИК</p>	<p>Скороспешкин М.В.</p>	<p>к.т.н.</p>		

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
<p>8AM41</p>	<p>Очиров Владислав Викторович</p>		

**МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РОССИЙСКОЙ
ФЕДЕРАЦИИ**

федеральное государственное автономное образовательное
учреждение высшего образования
**«НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ
ТОМСКИЙ ПОЛИТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»**

Институт Кибернетики

Направление подготовки (специальность) управление в технических системах

Уровень образования магистратура

Кафедра Автоматики и компьютерных систем

Период выполнения осенний / весенний семестр 2015/2016 учебного года

Форма представления работы:

Магистерская диссертация

(бакалаврская работа, дипломный проект/работа, магистерская диссертация)

**КАЛЕНДАРНЫЙ РЕЙТИНГ-ПЛАН
выполнения выпускной квалификационной работы**

Срок сдачи студентом выполненной работы:

Дата контроля	Название раздела (модуля) / вид работы (исследования)	Максимальный балл раздела (модуля)
30.05.16	Основная часть	60
24.05.16	Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение	15
28.05.16	Социальная ответственность	10
25.05.16	Обязательное приложение на иностранном языке	15

Составил преподаватель:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент кафедры АИКС ИК	Скороспешкин М.В.	К.Т.Н.		

СОГЛАСОВАНО:

Зав. кафедрой	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
АИКС ИК	Фадеев А. С.	К.Т.Н.		

**ЗАДАНИЕ ДЛЯ РАЗДЕЛА
«ФИНАНСОВЫЙ МЕНЕДЖМЕНТ, РЕСУРСОЭФФЕКТИВНОСТЬ И
РЕСУРСОСБЕРЕЖЕНИЕ»**

Студенту:

Группа	ФИО
8AM41	Очиров Владислав Викторович

Институт		Кафедра	
Уровень образования	Магистратура	Направление/специальность	Управление в технических системах

Исходные данные к разделу «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»:

1. Стоимость ресурсов научного исследования (НИ): материально-технических, энергетических, финансовых, информационных и человеческих	
2. Нормы и нормативы расходования ресурсов	
3. Используемая система налогообложения, ставки налогов, отчислений, дисконтирования и кредитования	

Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке:

1. Оценка коммерческого и инновационного потенциала НТИ	
2. Разработка устава научно-технического проекта	
3. Планирование процесса управления НТИ: структура и график проведения, бюджет, риски и организация закупок	
4. Определение ресурсной, финансовой, экономической эффективности	

Перечень графического материала *(с точным указанием обязательных чертежей):*

1. «Портрет» потребителя результатов НТИ
2. Сегментирование рынка
3. Оценка конкурентоспособности технических решений

4. Диаграмма FAST
5. Матрица SWOT
6. График проведения и бюджет НТИ
7. Оценка ресурсной, финансовой и экономической эффективности НТИ
8. Потенциальные риски

Дата выдачи задания для раздела по линейному графику	14.04.2015
---	------------

Задание выдал консультант:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент кафедры менеджмента	Конотопский В. Ю.	к.э.н.		

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
8AM41	Очиров Владислав Викторович		

**ЗАДАНИЕ ДЛЯ РАЗДЕЛА
«СОЦИАЛЬНАЯ ОТВЕТСТВЕННОСТЬ»**

Студенту:

Группа	ФИО
8AM41	Очиров Владислав Викторович

Институт		Кафедра	
Уровень образования	Магистратура	Направление/специальность	Управление в технических системах

Исходные данные к разделу «Социальная ответственность»:	
1. Характеристика объекта исследования (вещество, материал, прибор, алгоритм, методика, рабочая зона) и области его применения	
Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке:	
<p>1. Производственная безопасность</p> <p>1.1. Анализ выявленных вредных факторов при разработке и эксплуатации проектируемого решения в следующей последовательности:</p> <ul style="list-style-type: none"> – физико-химическая природа вредности, её связь с разрабатываемой темой; – действие фактора на организм человека; – приведение допустимых норм с необходимой размерностью (со ссылкой на соответствующий нормативно-технический документ); – предлагаемые средства защиты; – (сначала коллективной защиты, затем – индивидуальные защитные средства). <p>1.2. Анализ выявленных опасных факторов при разработке и эксплуатации проектируемого решения в следующей последовательности:</p> <ul style="list-style-type: none"> – механические опасности (источники, средства защиты); – термические опасности (источники, средства защиты); – электробезопасность (в т.ч. статическое электричество, молниезащита – источники, средства защиты). 	
<p>2. Экологическая безопасность:</p> <ul style="list-style-type: none"> – защита селитебной зоны – анализ воздействия объекта на атмосферу (выбросы); 	

<ul style="list-style-type: none"> – анализ воздействия объекта на гидросферу (сбросы); – анализ воздействия объекта на литосферу (отходы); – разработать решения по обеспечению экологической безопасности со ссылками на НТД по охране окружающей среды. 	
<p>3. Безопасность в чрезвычайных ситуациях:</p> <ul style="list-style-type: none"> – перечень возможных ЧС при разработке и эксплуатации проектируемого решения; – выбор наиболее типичной ЧС; – разработка превентивных мер по предупреждению ЧС; – разработка действий в результате возникшей ЧС и мер по ликвидации её последствий. 	
<p>4. Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности:</p> <ul style="list-style-type: none"> – специальные (характерные при эксплуатации объекта исследования, проектируемой рабочей зоны) правовые нормы трудового законодательства; – организационные мероприятия при компоновке рабочей зоны. 	

Дата выдачи задания для раздела по линейному графику	7.04.2016
---	-----------

Задание выдал консультант:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент кафедры ЭБЖ ИНК	Анищенко Ю. В.	К.Т.Н		

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
8AM41	Очиров Владислав Викторович		

РЕФЕРАТ

Выпускная квалификационная работа содержит 109 страниц, 63 рисунков, 6 таблиц, 8 источников, 15 слайдов, 3 приложения.

Ключевыми словами являются: нечеткое множество, нечеткий регулятор, нечеткая система регулирования, фаззификация, дефаззификация, база правил, контроллер SIMATIC S7-400, система программирования STEP7.

Объектом исследования являются: псевдолинейный нечеткий регулятор, система автоматического регулирования (САР) с нечетким регулятором.

Цель работы – разработка и программная реализация на промышленном микропроцессорном контроллере SIMATIC S7-400 нечеткого ПИД - регулятора.

В процессе работы был изучен аппарат нечеткой логики, промышленный контроллер SIMATIC S7-400, пакет STEP7, был разработан и программно реализован псевдолинейный нечеткий ПИД - регулятор и разработано программно-методическое обеспечение, позволяющее студентам изучить данный регулятор.

ОБОЗНАЧЕНИЯ И СОКРАЩЕНИЯ

АЧХ – индуктивный преобразователь перемещения;

ПЛК – программируемый логический контроллер;

ПО – программное обеспечение;

АСУ ТП – автоматизированная система управления технологическим процессам;

ПО – программное обеспечение;

КУ – корректирующее устройство;

ЛКУ – линейные корректирующие устройства;

НКУ – нелинейные корректирующие устройства;

ОУ – Объект управления;

ПИД-регулятор – Пропорционально-интегрально-дифференциальный регулятор;

ПКУ – псевдолинейные корректирующие устройства;

САР – система автоматического регулирования;

САУ – система автоматического управления;

ФЧХ – фазо-частотная характеристика.

Оглавление

ВВЕДЕНИЕ.....	14
1 ОСНОВЫ ТЕОРИИ НЕЧЕТКИХ МНОЖЕСТВ И НЕЧЕТКОЙ ЛОГИКИ	15
1.1 Понятие нечеткого множества, его характеристики и его основные свойства	15
1.2 Нечеткая логика и ее основные свойства (нечеткие выводы)....	16
2 ОБОБЩЕННАЯ СТРУКТУРА НЕЧЕТКОГО РЕГУЛЯТОРА.....	19
3 ПСЕВДОЛИНЕЙНЫЕ КОРРЕКТИРУЮЩИЕ УСТРОЙСТВА... 25	
3.1 Корректирующие устройства с амплитудным подавлением (ослаблением)	28
3.2 Корректирующие устройства с фазовым опережением	31
3.3 Двухканальные корректирующие устройства с отдельными каналами для амплитуды и фазы.....	34
4 МЕТОДЫ СИНТЕЗА И НАСТРОЙКИ ПСЕВДОЛИНЕЙНОГО НЕЧЕТКОГО	39
ПИД - РЕГУЛЯТОРА	39
4.1 Традиционный нечеткий псевдолинейный ПИД – регулятор ...	41
4.2 Нечеткие управляющие правила	42
5 ИССЛЕДОВАНИЕ СВОЙСТВ ПСЕВДОЛИНЕЙНОГО регулятора В СРЕДАХ МАТНСАД И МАТЛАВ	45
5.1 Исследование свойств двухканального корректирующего устройства.....	45
5.2 Исследование свойств системы управления	52
5.3 Система управления с адаптивным псевдолинейным двухканальным корректирующим устройством.....	65
6 РАЗРАБОТКА И ИССЛЕДОВАНИЕ СВОЙСТВ ПСЕВДОЛИНЕЙНОГО НЕЧЕТКОГО ПИД - РЕГУЛЯТОРА И СИСТЕМ УПРАВЛЕНИЯ С ДАННЫМ РЕГУЛЯТОРОМ В СРЕДЕ МАТЛАВ	69

6.1. Работа в пакете прикладного программирования MatLab с нечеткой логикой	69
6.2 Разработка и исследование САР с псевдолинейным нечетким регулятором в среде MatLab	70
6.3 Разработка САР с нечетким регулятором для объектов без запаздывания	72
6.4 Разработка САР с нечетким регулятором для объекта с запаздыванием.....	79
7 СТРУКТУРА ЛАБОРАТОРНОГО КОМПЛЕКСА	82
7.1 Назначение, состав и технические характеристики контроллера SIMATIC S7-400.....	82
8 СОЦИАЛЬНАЯ ОТВЕТСТВЕННОСТЬ.....	85
8.1.Анализ опасных и вредных факторов.....	85
8.2 Пожарная безопасность.....	89
8.3 Региональная безопасность. Охрана окружающей среды	92
9 ФИНАНСОВЫЙ МЕНЕДЖМЕНТ, РЕСУРСОЭФФЕКТИВНОСТЬ И РЕСУРСОСБЕРЕЖЕНИЕ	93
9.1 Организация и планирование работ.....	93
9.2 Расчет сметы затрат на создание макета КУ.....	97
9.3 Оценка научно-технического уровня НИР.....	100
ЗАКЛЮЧЕНИЕ	104
CONCLUSION	105
СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ	106
ПРИЛОЖЕНИЕ А.....	108
ПРИЛОЖЕНИЕ Б	144
ПРИЛОЖЕНИЕ В	168

ВВЕДЕНИЕ

В настоящее время нечеткий алгоритм управления, основанный на теории нечетких множеств, широко распространился в системах автоматизированного управления. По сравнению с общеизвестным традиционным регулятором псевдолинейный нечеткий регулятор, построенный на основе нечетких множеств и нечеткого логического вывода, в условиях неопределенности возмущающего воздействия, способен обеспечить более высокие показатели качества переходного процесса, чем традиционный ПИД - регулятор.

Вместе с тем, в последнее время широкую популярность находят нечеткие модели и алгоритмы управления. Известно, что нечеткое управление основано на использовании не столько аналитических или теоретических моделей, сколько на практическом применении знаний квалифицированных специалистов, представленных в форме лингвистических баз правил. Нечеткое управление эффективно в случаях недетерминированности параметров объектов, когда существует определенный опыт экспертов по управлению и настройке системы автоматического регулирования (САР) [2].

Так, как в настоящее время большинство САР строится на базе свободно программируемых промышленных контроллеров, поэтому имеется возможность создать систему с применением нечеткого регулятора.

Целью работы является разработка, исследование и программная реализация на базе промышленных микропроцессорных контроллеров SIMATIC S7-400 псевдолинейного нечеткого ПИД - регулятора.

1 ОСНОВЫ ТЕОРИИ НЕЧЕТКИХ МНОЖЕСТВ И НЕЧЕТКОЙ ЛОГИКИ

1.1 Нечеткое множество, характеристики и основные свойства

Понятие *множество* означает набор элементов, имеющих некоторые общие свойства. При этом любой элемент заранее аксиоматически либо принадлежит данному множеству, либо не принадлежит. Однако, язык обычных множеств оказывается недостаточно гибким для формализации элементов неопределенности, присущих реальным системам.

Представление *нечеткого множества* полагается на предположении, что каждый элемент лишь в некоторой уровни принадлежит этому множеству, поэтому одним из главных способов математического представления *нечеткого множества* является определение степени принадлежности некоторым числом из интервала $[0,1]$. При этом границы интервала, то есть 1 и 0, означают, соответственно, “принадлежит” и “не принадлежит”.

Определение 1. Пусть x – элемент универсального множества E , обладающий некоторым свойством R . A - обычное подмножество, состоящее x элементов, удовлетворяющих свойство R . Подмножество A принадлежит к универсальному множеству E и принимается как множество пар:

$$A = \{\mu_A(x) / x\} \quad (1.1)$$

где $\mu_A(x)$ - *характеристическая функция*, принимающая значение в $(0;1]$, а x по степени выполняет R свойство, иначе принимает 0.

Значение функции принадлежности равно степени принадлежности элемента x подмножеству A . В связи с этим, множество M состоит из множества принадлежностей $M = \{0,1\}$. Тогда нечеткое подмножество A можно рассматривать как обычное множество.

Теперь необходимо привести основные характеристики нечетких множеств. Пусть $M = \{0,1\}$ и S являются нечетким множеством с элементами универсального множества V и множеством принадлежностей G .

Определение 2. Нечеткое множество A является нормальным, если его *высота* – значение $\sup_{x \in E} \mu_A(x)$ равна 1, то есть верхняя граница хотя бы его одной функции принадлежности равна 1 ($\sup_{x \in E} \mu_A(x) = 1$), а если $\sup_{x \in E} \mu_A(x) < 1$, то A является *субнормальным*.

Определение 3. Нечеткое множество A является *пустым*, если все элементы которого принимают нулевое значение: $\forall x \in E, \mu_A(x) = 0$. Непустое субнормальное множество допускается нормализовать по следующей формуле:

$$\mu_A(x) = \frac{\mu_A(x)}{\sup_{x \in E} \mu_A(x)} \quad (1.2)$$

1.2 Нечеткая логика и ее основные свойства (нечеткие выводы)

Соответственно одному из самых известных определений, нечеткая логика – это и есть анализ разных способов рассуждений. Учитывая эти методы, логика воспринимает, во-первых форму, а не содержание доводов в тех или иных рассуждениях. Истинны или ложны ли отдельные посылки или заключения не интересует логику. То, что интересует его – это, совпадает ли истинность заключений с истинностью посылок. Систематизирование, формулирование правильных способов абсолютных рассуждений – одна из главных задач логики.

Механизм нечеткого вывода в своей очереди имеет базу знаний, создаваемую специалистами определенной предметной области, который используется в разных видах экспертных и управляющих системах. База знаний содержит совокупность предикатных правил вида:

П1: если $x=C1$, тогда $y=D1$,

П2: если $x=C2$, тогда $y=D2$,

Пn: если $x=Cn$, тогда $y=Dn$,

x – вход, y – выход, вычисляемые при помощи базы правил входной переменной. C и D – это совокупности функций принадлежности, определяемые соответственно на x и y .

Далее необходимо рассмотреть более детальное объяснение. Знание эксперта отражает нечеткое отношение, обозначаемое через R , которое описывается причинном отношением предпосылок и заключений в виде $A \rightarrow B$:

$$R = A \rightarrow B, \quad (1.3)$$

где “ \rightarrow ” – нечеткая импликация. Отношение R иногда рассматривается в виде нечеткого подмножества прямого произведения $X*Y$, где X – полное множество предпосылок, а Y – соответственно заключений. В таком случае, процесс получения нечеткого вывода B' с применением текущего наблюдения A' и знаний $A \rightarrow B$ можно описать в таком виде формулы:

$$B' = A' \circ R = A' \circ (A \rightarrow B), \quad (1.4)$$

где “ \circ ” – это операция свертки. Операция импликации в алгебре нечеткого множества реализуется по-разному так, как и операция композиции. При таком случае естественно ожидается другой результат и будет различаться. Но в любом случае, общий нечеткий результат логических выводов получается с помощью следующих четырех этапов:

- Этап *фаззификации* или нечеткости (*fuzzification*). Определенные функции принадлежности по значениям переменных входа используются их значениям для выявления степеней истинности каждого предпосылок, соответствующих любому из правил.
- Логический вывод. Значения истинности для предпосылок каждого правила используются для поиска заключений правила. Осуществляется появлением любого нечеткого подмножества, назначаемое каждой переменной нечеткого вывода для каждого правила. Только операции \min и prod используются в качестве

правила логического вывода. При логическом выводе с операцией МИНИМ функция принадлежности, которая была получена после вывода отсекается по высоте по вычисленным значениям степеней истинности предпосылок правил (нечеткая логика “И”). При логическом выводе в виде операции УМНОЖ функция принадлежности вывода формируется при помощи вычисленных значений степеней истинности предпосылок правила.

- *Этап композиции.* Все нечеткие подмножества для каждой переменной вывода, объединяются вместе для формирования одного нечеткого подмножества для каждой переменной вывода. При таком виде объединения применяются операции вида *max* (МАКСИМ) или *sum* (СУММА). С помощью композиции вида МАКСИМ комбинированный метод вывода нечеткого подмножества формируется поточечным максимумом по всем полученным нечетким подмножествам. Этот вид композиции называется в нечеткой логике операцией “ИЛИ”. Для назначения переменной выхода логических выводов используется и композиция СУММЫ, комбинированный вывод нечеткого подмножества, конструированный поточечной суммой по всем нечетким подмножествам.
- *Этап заключения* - приведение нечетких значений четким, называется *дефаззификацией (defuzzication)*, оно используется для преобразования нечеткого набора выводов в четкие числа.

2 СТРУКТУРА НЕЧЕТКОГО РЕГУЛЯТОРА

Структура нечеткого регулятора имеет вид, представленный на рис.

2.1.

Для создания нечеткого регулятора требуется создать базу правил в виде:

IF <ввод> THEN <вывод>

и базу данных с функциями принадлежности для ввода $\mu(e)$ и выводов $\mu(u)$, то есть выявить все нужные лингвистические правила с лингвистическими термами и переменными[4].

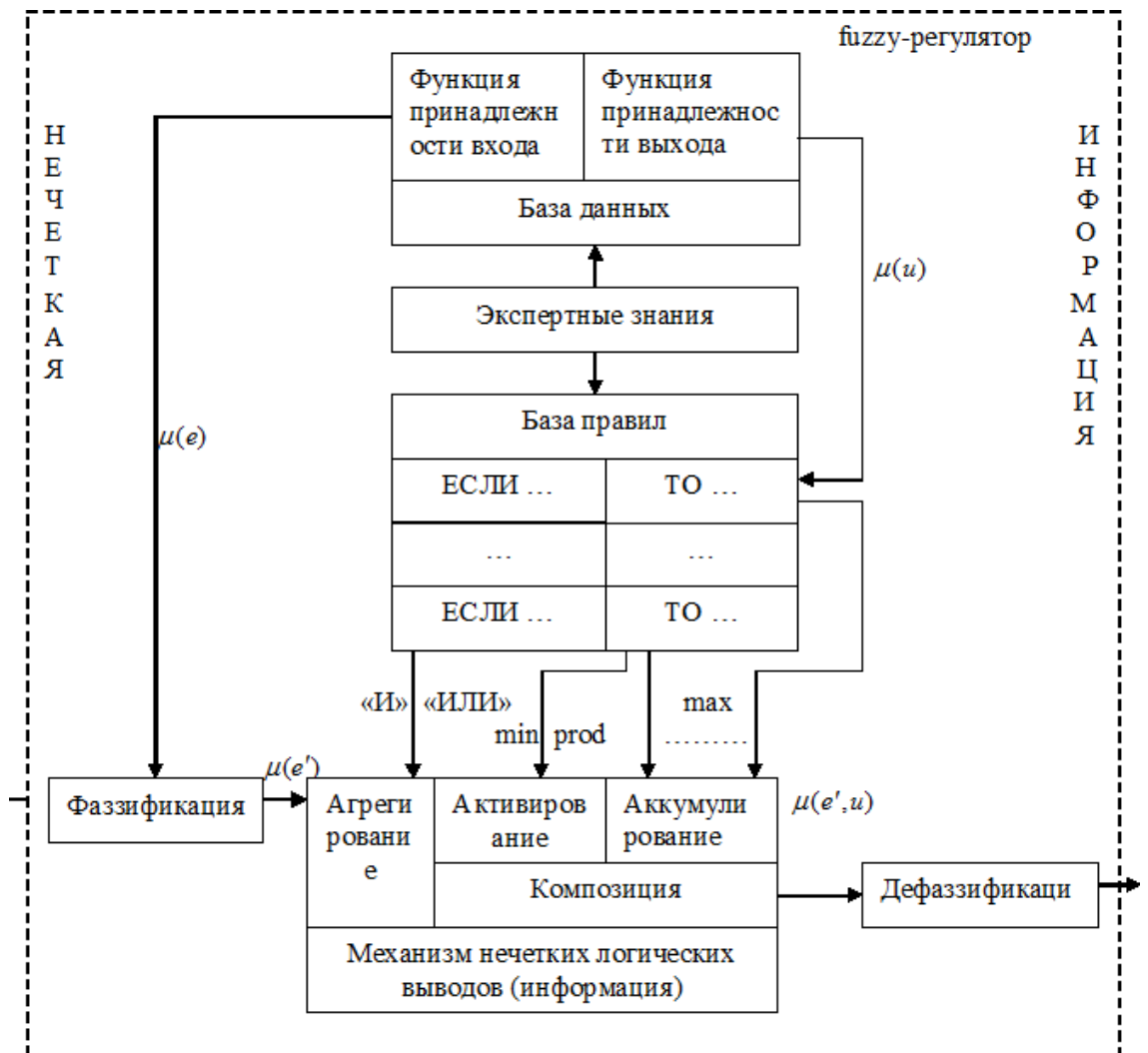


Рисунок 2.1 – Обобщенная структура нечеткого регулятора

Фаззификация (Fuzzification). Целью данного этапа является формирование соответствия между конкретной отдельной входной

переменной системы и значением функции принадлежности принадлежащего ей терма входной лингвистической переменной. После завершения данного этапа для всех входных переменных должны быть использованы конкретные значения функций принадлежности по каждому из лингвистических термов, использующиеся в допущениях базы правил систем.[5]

Обычно процедура фаззификации проходит следующим образом. Для начала вычисляются известные конкретные значения всех входных переменных систем, т. е. множество значений $V'=\{a_1, a_2, \dots, a_m\}$. То есть каждый $a_i \in X_i$, где X_i — универсум лингвистической переменной β .

Далее рассматриваем допущения вида “ β_i есть α' ” правил, где α' — терм с известной функцией принадлежности $\mu(x)$. При этом значение a_i используется в качестве аргумента $\mu(x)$, тем самым находится количественное значение $b'_i = \mu(a_i)$. Это значение и является результатом фаззификации поддоговья “ β_i есть α' ”.

Этап фаззификации считается законченным, когда будут найдены все значения $b'_i = \mu(a_i)$, для каждого из поддоговья всех правил, входящих в рассматриваемую базу правил системы нечеткого вывода. Это множество значений обозначается через $B=\{b'_i\}$. При этом если некоторый терм α' лингвистической переменной β_i не присутствует ни в одном из нечетких высказываний, то принадлежащее ему значение функции не находится в этапе фаззификации.

Агрегирование это процедура определения степени истинности условий по каждому из правил системы нечеткого вывода.

Данная процедура формируется следующим образом. До начала этого этапа предполагаются известными значения истинности всех поддоговья системы нечеткого вывода, т. е. множество значений $B=\{b'_i\}$. [8]

Далее рассматривается каждое из условий правил системы нечеткого вывода. Если условие правила представляет собой нечеткое высказывание вида:

ПРАВИЛО <#>: ЕСЛИ “ β_1 есть α ” (2.1)

или вида:

ПРАВИЛО <#>: ЕСЛИ “ β_1 есть $\nabla \alpha$ ”; (2.2)

где ∇ - модификатор, соответствующий словам, как: “ОЧЕНЬ”, “БОЛЕЕ ИЛИ МЕНЕЕ”, “МНОГО БОЛЬШЕ” и другим, то степень его истинности равна соответствующему значению b'_i .

Если же условие состоит из нескольких подусловий вида:

ПРАВИЛО <#>: ЕСЛИ “ β_1 есть α' ” И “ β_2 есть α ” (2.3)

или вида:

ПРАВИЛО <#>: ЕСЛИ “ β_1 есть α' ” ИЛИ “ β_2 есть α ”; (2.4)

причем лингвистические переменные в подусловиях попарно не равны друг другу, то определяется степень истинности сложного высказывания на основе известных значений истинности подусловий. Тем самым находятся количественные значения истинности всех условий правил системы нечеткого вывода.

Этап агрегирования считается законченным, когда будут найдены все значения b''_k для каждого из правил R_k , входящих в рассматриваемую базу правил P системы нечеткого вывода. Это множество значений обозначим через $B = \{b''_1, b''_2, \dots, b''_n\}$.

Активизация в системах нечеткого вывода это процесс нахождения степени истинности каждого из заключений правил. Активизация во многом схожа с композицией нечетких отношений, но не равна ей. Так как в системах нечеткого вывода применяются лингвистические переменные. В действительности при создании базы правил системы нечеткого вывода назначаются весовые коэффициенты F_i для каждого правила (по умолчанию предполагается, если весовой коэффициент не задан действительно, то его значение равно единице).

Формально процедура активизации выполняется следующим образом. До начала этого этапа предполагаются известными значения истинности всех условий системы нечеткого вывода, т. е. множество

значений $B = \{b''_1, b''_2, \dots, b''_n\}$ и значения весовых коэффициентов F_i для любого правила. Далее рассматривается каждое из заключений правил системы нечеткого вывода. Если заключение правила выглядит в виде формы:

$$THEN \text{ “ } \beta_2 \text{ есть } v \text{ ”} \quad (2.5)$$

или формы:

$$THEN \text{ “ } \beta_2 \text{ есть } \nabla v \text{ ”}, \quad (2.6)$$

то степень истинности тождественна алгебраическому произведению значений b''_i и весового коэффициента F_i .

Если же заключение представляет собой несколько подзаключений формы:

$$RULE \langle \# \rangle: THEN \text{ “ } \beta_2 \text{ есть } \alpha \text{ ” AND “ } \beta_3 \text{ есть } v \text{ ”} \quad (2.7)$$

или вида:

$$RULE \langle \# \rangle: THEN \text{ “ } \beta_2 \text{ есть } \alpha \text{ ” OR “ } \beta_2 \text{ есть } v \text{ ”}, \quad (2.8)$$

причем лингвистические переменные в подзаключениях попарно не равны друг другу, то степень истинности каждого из подзаключений равна алгебраическому произведению соответствующего значения b''_i на весовой коэффициент F_i . В таком случае, вычисляются все значения c_k степеней истинности подзаключений для каждого из правил R_k , входящих в данную базу правил P системы нечеткого вывода. Такое множество значений обозначается с помощью $C = \{c_1, c_2, \dots, c_q\}$, где q — общее количество подзаключений в базе правил.

После нахождения множества $C = \{c_1, c_2, \dots, c_q\}$ определяются функции принадлежности каждого из подзаключений для рассматриваемых выходных лингвистических переменных. Для этой цели можно использовать один из методов, являющихся модификацией того или иного метода нечеткой композиции:

- min-активизация: $\mu'(y) = \min\{c_i, \mu(y)\}; \quad (2.9)$

- prod-активизация: $\mu'(y) = c_i * \mu(y); \quad (2.10)$

- average-активизация: $\mu'(y) = 0.5 * (c_i + \mu(y)); \quad (2.11)$

где $\mu'(y)$ — функция принадлежности терма, который является значением некоторой выходной переменной ω_j заданной на универсуме Y .

Данный этап активизации считается готовым, когда для каждой из выходных лингвистических переменных, которые входят в отдельные подзаключения правил нечетких продукций, будут выявлены функции принадлежности нечетких множеств их значений, так как совокупность нечетких множеств: C_1, C_2, \dots, C_q , где q —общее количество подзаключений в базе правил системы нечеткого вывода.

Аккумуляция в системах нечеткого эта процедура или процесс выявления функции принадлежности для каждой из выходных лингвистических переменных множества $W = \{ \omega_1, \omega_2, \dots, \omega_s \}$.

Суть аккумуляции в том, чтобы объединить или аккумулятировать все степени истинности заключений (подзаключений) для нахождения функции принадлежности каждой из выходных переменных. Причина необходимости формирования данного этапа заключается в том, что подзаключения, которые относятся к одной и той же выходной лингвистической переменной, принадлежат разным правилам системы нечеткого вывода.

Обычно процесс аккумуляции совершается следующим образом. До старта данного этапа формируются известными значения истинности каждой подзаключений для каждого из правил R_k , входящих в рассматриваемую базу правил P системы нечеткого вывода, в виде совокупности нечетких множеств: C_1, C_2, \dots, C_q , где q — общее количество подзаключений в базе правил. Далее следует, что последовательно обрабатывается каждая из выходных лингвистических переменных $\omega_j \in W$ и относящиеся к ней нечеткие множества: $C_{1j}, C_{2j}, \dots, C_{qj}$.

Процесс аккумуляции считается выполненным, когда для каждой из выходных лингвистических переменных будут выявлены финальные функции принадлежности нечетких множеств их значений, т. е. совокупность нечетких множеств: C'_1, C'_2, \dots, C'_s , где s — общее количество

выходных лингвистических переменных в базе правил системы нечеткого вывода.

Дефаззификация в системах нечеткого вывода эта процедура или процесс выявления обычного (не нечеткого) значения для каждой из выходных лингвистических переменных множества $W = \{ \omega_1, \omega_2, \dots, \omega_s \}$.

Суть дефаззификации в том, чтобы, используя результаты аккумуляции всех выходных лингвистических переменных, собрать обычное количественное значение (crisp value) каждой из выходных переменных, которое может быть использовано специальными приборами, внешними по отношению к системе нечеткого вывода.

Обычно процесс дефаззификации происходит следующим образом. До старта данной процедуры вычисляются известные функции принадлежности всех выходных лингвистических переменных в форме нечетких множеств: C'_1, C'_2, \dots, C'_s , где s — общее количество выходных лингвистических переменных в базе правил системы нечеткого вывода. Далее следует, что последовательно рассматривается каждая из выходных лингвистических переменных W и относящееся к ней нечеткое множество C'_j . Результат дефаззификации для выходной лингвистической переменной ω_j определяется в виде количественного значения $y_j \in R$, получаемого по одному из способов дефаззификации.

3 ПСЕВДОЛИНЕЙНЫЕ КОРРЕКТИРУЮЩИЕ УСТРОЙСТВА

Под улучшением качества процедуры регулирования, кроме как повышения точности в типовых режимах, понимается изменение динамических свойств системы регулирования для получения необходимого запаса устойчивости и быстродействия. В этом вопросе главное значение имеет обеспечение запаса устойчивости.

При решении проблемы повышения запаса устойчивости любой системы регулирования, нужно попытаться рациональным способом изменить ее параметры (коэффициенты передачи отдельных звеньев, постоянные времени и т.п.) так, чтобы удовлетворить требованиям качества регулирования, которые определяются критериями качества. При невозможности решить эту проблему в рамках имеющейся системы приходится идти на изменение (коррекцию) ее структуры. [1]

Под коррекцией систем автоматического управления (САУ) понимается изменение их динамических свойств (характеристик) с целью обеспечения требуемого запаса устойчивости, повышения динамической точности и показателей качества переходного процесса. Коррекция осуществляется включением в систему дополнительных элементов – корректирующих устройств [2], которые должны изменить динамику всей системы в нужном направлении. К корректирующим устройствам относятся, в частности, корректирующие звенья, представляющие собой динамические звенья с определенными передаточными функциями. [1]

Основная задача корректирующих устройств состоит в улучшении точности системы и качества переходных процессов. Однако наряду с этим путем введения корректирующих устройств можно решать и более общую задачу – сделать систему устойчивой, если она была без них неустойчивой, а затем добиться и желаемого качества процесса регулирования. [3]

В тех случаях, когда корректирующие звенья используются именно для получения устойчивости системы регулирования или для повышения ее

запаса устойчивости, они называются иногда демпфирующими или стабилизирующими звеньями. При этом имеется в виду, что звенья демпфируют колебания, которые возникают в системе регулирования. Термин «корректирующие звенья» является более широким и используется для звеньев, которые вводятся в систему для изменения статических и динамических свойств с различными целями.[1]

Все корректирующие устройства, применяемые в системах автоматического управления, можно разделить на линейные и нелинейные.

Среди нелинейных корректирующих устройств можно выделить класс таких устройств, эквивалентные амплитудно-фазовые характеристики которых не зависят от амплитуды входного сигнала и являются только функциями частоты. У этих устройств отсутствует жесткая связь между амплитудой и фазовой характеристиками, как это имеет место у линейных корректирующих устройств. На этом основании нелинейные корректирующие устройства данного класса можно рассматривать как псевдолинейные корректирующие устройства (ПКУ). Возможность формирования амплитудной и фазовой характеристик псевдолинейных корректирующих устройств независимо друг от друга открывает широкие возможности изменения частотных характеристик САУ в желаемом направлении.

При решении задачи стабилизации замкнутых систем управления для создания необходимых запасов устойчивости требуется не только избежать охвата критической точки $(-1, j0)$ годографом амплитудно-фазовой частотной характеристики разомкнутой системы, но и обеспечить его необходимое удаление от этой точки.

Можно утверждать, что наиболее желательными корректирующими устройствами были бы такие, частотные характеристики которых имеют один из трех видов, представленных на рисунке 3.4 и соответственно обеспечивающих подавление усиления с ростом частоты без изменения фазы (рисунок 1.3,а); увеличение фазового опережения с ростом частоты без

изменения усиления (рисунок 1.3,б); ослабление усиления, сопровождаемое увеличением фазового опережения с ростом частоты (рисунок 3.4,в).

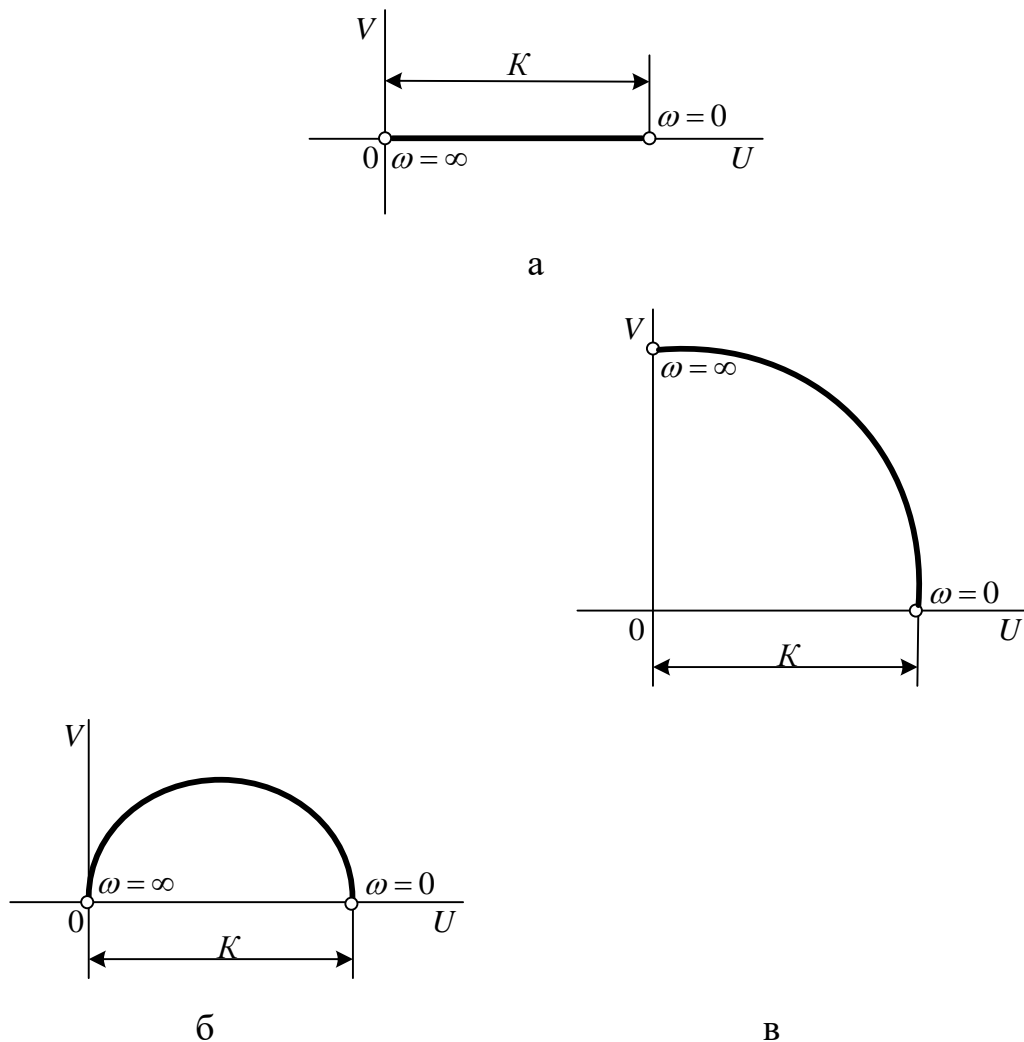


Рисунок 3.4 – Вид желаемых амплитудно-фазовых характеристик корректирующих устройств: а – ослабление амплитуды с ростом частоты без изменения фазы; б – увеличение фазового опережения с ростом частоты без изменения усиления; в – ослабление усиления, сопровождаемое увеличением фазового опережения с ростом частоты

При помощи включения корректирующего устройства, обладающего любой из указанных частотных характеристик, может быть улучшена относительная устойчивость системы автоматического управления, т.е. увеличены запасы устойчивости по фазе и модулю.

Использование корректирующего устройства в системе управления с частотной характеристикой, показанной на рисунке 3.4,а, позволяет изменить амплитудную характеристику, не влияя на фазовую.

В случае применения корректирующего устройства с характеристикой, изображенной на рисунке 3.4,б, видоизменяется фазовая характеристика системы, амплитудная же остается прежней.

3.1 Корректирующие устройства с амплитудным подавлением (ослаблением)

Псевдолинейное корректирующее устройство, позволяющее получить ослабление амплитуды с ростом частоты без изменения фазы (характеристика на рисунке 3.4.а), может быть выполнено по схеме, показанной на рисунке 3.5.

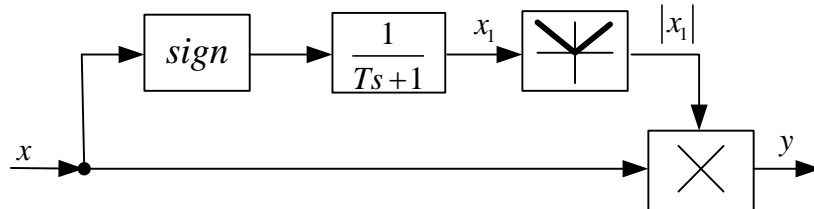


Рисунок 3.5 – Схема псевдолинейного корректирующего устройства с амплитудным подавлением

Входной сигнал, разветвляясь, проходит по двум каналам. Верхняя ветвь устройства состоит из блока сигнатуры, фильтра низких частот, блока взятия модуля. По нижней ветви входной сигнал следует без изменения. Сигнал на выходе устройства получается как произведение выходных сигналов обеих ветвей $y = |x_1|x$, причем x_1 определяется уравнением $Tx_1 + x_1 = sign(x)$.

На входе фильтра действует синусоидальный сигнал $y = F(x)$, в виде:

$$x_1 = x_{10} \cdot e^{-\frac{t}{T}} \pm (1 - e^{-\frac{t}{T}}), \quad \text{где } x_{10} = \mp \frac{1 - e^{-\frac{\pi}{\omega T}}}{1 + e^{-\frac{\pi}{\omega T}}}.$$

Причем верхний знак в этих выражениях берется при положительной полуволне входного сигнала x . Форма сигналов в характерных точках фильтра показана на рисунке 3.6

Коэффициенты гармонической линейризации нелинейного фильтра определяются по известным формулам и для нашего случая будут иметь вид:

$$a = 1 - \frac{2 \cdot \alpha}{\pi} + \frac{2 \cdot \sin \alpha}{\pi(1 + 4 \cdot \omega^2 \cdot T^2)} \cdot (\cos \alpha - 2 \cdot \omega \cdot T \cdot \sin \alpha);$$

$$b = -\frac{2 \cdot \sin \alpha}{\pi(1 + 4 \cdot \omega^2 \cdot T^2)} \cdot (\sin \alpha - 2 \cdot \omega \cdot T \cdot \cos \alpha).$$

Причем α будет иметь следующий вид:

$$\alpha = \omega \cdot T \cdot \ln \frac{2}{2 + e^{-\frac{\pi}{\omega T}}}.$$

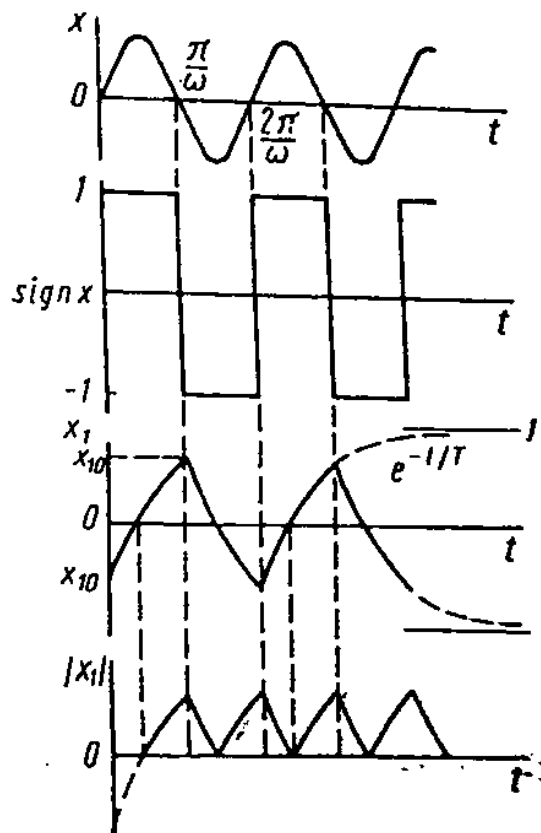


Рисунок 3.6 - Форма сигналов в характерных точках нелинейного фильтра с амплитудным подавлением для случая синусоидального входного сигнала

Полученные выражения свидетельствуют о том, что коэффициенты гармонической линеаризации a и b зависят только от частоты, поэтому амплитудная $q(\omega)$ и фазовая характеристики $\mu(\omega)$ рассматриваемого нелинейного фильтра также зависят только от частоты и не зависят от амплитуды входного сигнала, т.е.:

$$q = f(\omega);$$

$$\mu = f(\omega).$$

На рисунке 3.7 сплошной линией показаны логарифмические характеристики рассматриваемого псевдолинейного фильтра в функции приведенной частоты $u = \omega T$.

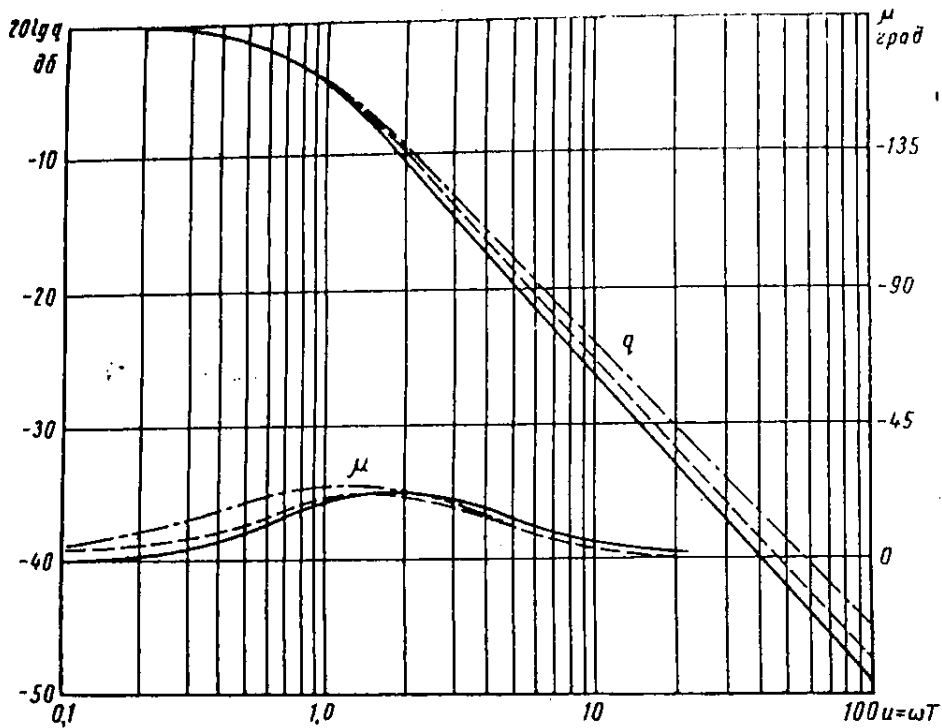


Рисунок 3.7 - Логарифмические амплитудные и фазовые частотные характеристики нелинейного фильтра с амплитудным подавлением

Если пренебречь влиянием высших гармоник меандра $sign x$ (см. рисунок 3.6), т.е. считать сигнал на выходе блока сигнатуры синусоидальным, то, получим упрощенные формулы для расчета a и b :

$$\alpha = \frac{8}{\pi^2 \cdot \sqrt{1 + \omega^2 \cdot T^2}} \cdot \left(1 + \frac{1}{3} \cdot \cos 2\theta\right), \quad \text{где } \theta = -\arctg \omega \cdot T.$$

$$b = \frac{8}{\pi^2 \cdot \sqrt{1 + \omega^2 \cdot T^2}} \cdot \left(\frac{1}{3} \cdot \sin 2\theta\right).$$

Логарифмические частотные характеристики фильтра $[g(\omega)$ и $\mu(\omega)]$ показаны штриховыми линиями.

Рассмотренная схема псевдолинейной коррекции может быть использована для увеличения запасов устойчивости в системах автоматического управления, в которых возможно применение способа демпфирования, известного в линейных системах как демпфирование с подавлением высоких частот.

3.2 Корректирующие устройства с фазовым опережением

Примером схемы псевдолинейной коррекции, позволяющей получить фазовое опережение без изменения амплитуды, может служить схема, приведенная на рисунке 3.8.

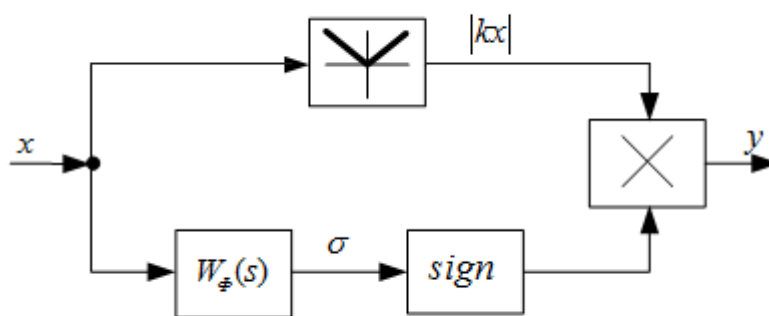


Рисунок 3.8 – Схема псевдолинейного корректирующего устройства с фазовым опережением

Входной сигнал, разветвляясь, также проходит по двум каналам. Верхняя ветвь устройства состоит из блока выделения модуля. Нижняя

ветвь – из линейного фильтра и блока сигнатуры. Сигнал на выходе получается как произведение модуля сигнала $|kx|$ на функцию знака $sign(x)$, где σ является выходом линейного фильтра $W_\phi(s)$, создающего опережение.

Заметим, что при фиксированном значении частоты ω входного сигнала нелинейный фильтр может быть заменен нелинейностью, имеющей статическую характеристику по типу опережающей гистерезисной петли, при условии, что линейный фильтр W_ϕ на этой частоте создает опережение, равное α , величина которого зависит от выбора его параметров. Эти характеристики приведены на рисунке 3.9.

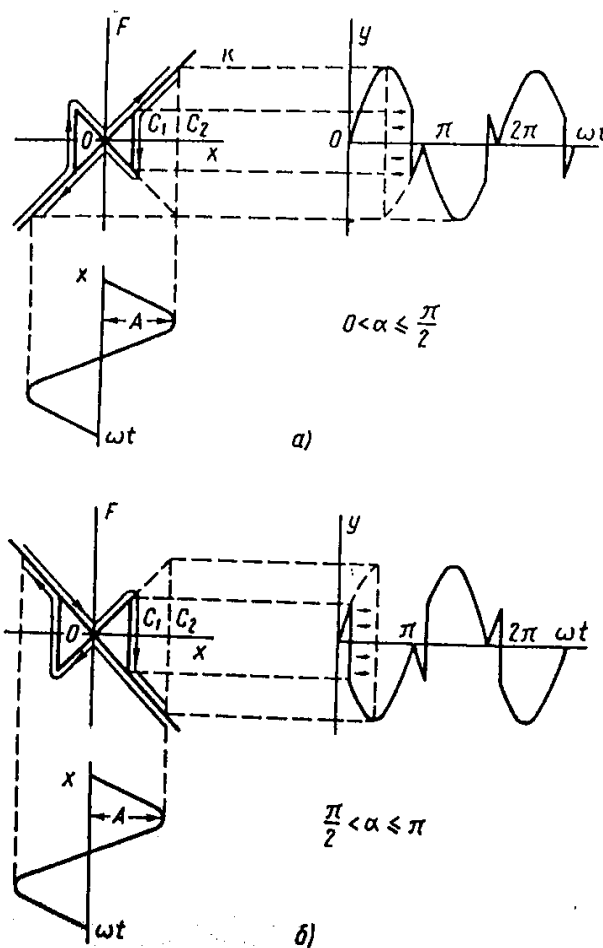


Рисунок 3.9 - Нелинейные характеристики:

a – при фазовом опережении до 90° ; b – при фазовом опережении от 90° до 180°

Вид характеристики на данном рисунке подтверждает независимость коэффициентов a и b гармонической линейризацией такой нелинейности от амплитуды входного сигнала.

Если в схеме используется линейный фильтр с ПФ вида $W(s) = \frac{T \cdot s + 1}{T_1 \cdot s + 1}$, то создаваемое им опережение будет равно:

$$\alpha = \arctg \frac{\omega \cdot T(1 - \nu)}{1 + \omega^2 \cdot T^2 \cdot \nu}, \quad \text{где } \nu = \frac{T_1}{T}.$$

Тогда коэффициенты a и b будут вычисляться по следующим формулам:

$$a = \frac{k}{\pi} \cdot (\pi - 2 \cdot \alpha + \sin 2\alpha).$$

$$b = \frac{k}{\pi} \cdot (1 - \cos 2\alpha).$$

Логарифмические частотные характеристики псевдолинейного фильтра при значении $k = 1$ показаны на рисунке 3.10. Они построены в функции приведенной частоты $u = \omega T$ для ряда значений ν .

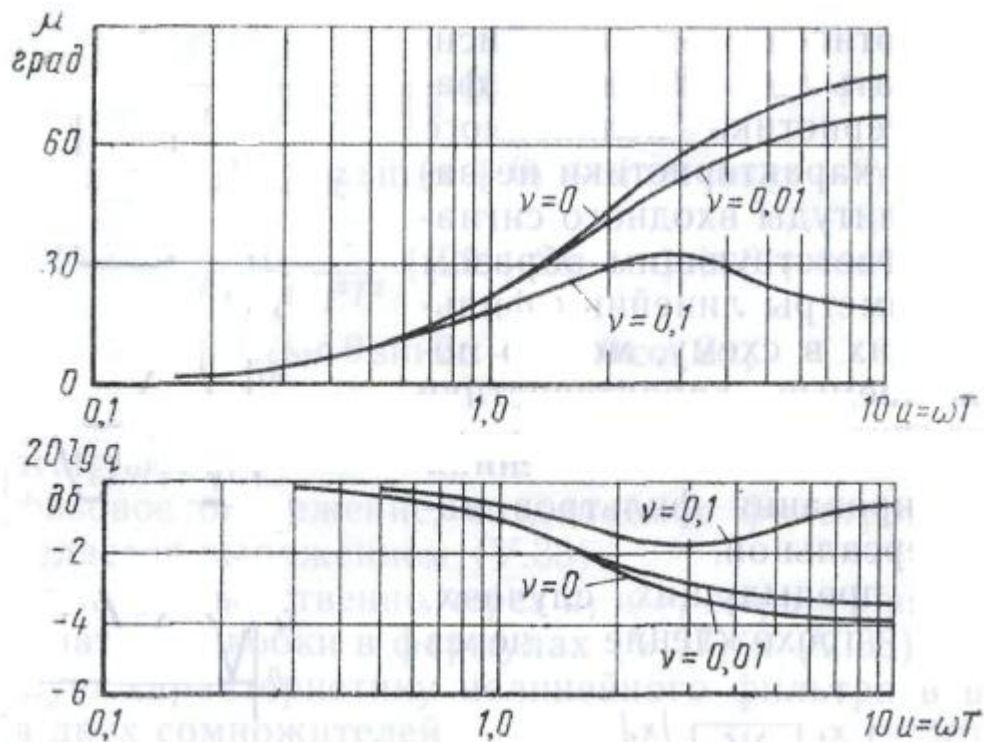


Рисунок 3.10 - Логарифмические частотные характеристики
нелинейного фильтра с фазовым опережением:

a – фазовые; b – амплитудные

Не учитывая создаваемого псевдолинейным фильтром ослабления, максимальное значение которого не превышает -4дБ, можно считать, что его частотные характеристики отвечают требованиям желаемого вида (см. рисунок 3.10,б), т.е. обеспечивают фазовое опережение с ростом частоты без изменения амплитуды. Схема может использоваться вместо линейной схемы коррекции в системах, где для демпфирования требуется вводить фазовое опережение.

3.3 Двухканальные корректирующие устройства с отдельными каналами для амплитуды и фазы

Схема псевдолинейной коррекции, представленная на рисунке 3.11, позволяет получить различные амплитудно-фазовые соотношения, т.е. относительно независимо формировать амплитудную и фазовую характеристики. Эти характеристики не зависят от амплитуды входного сигнала. Соответствующим образом, изменяя параметры линейных фильтров, входящих в схему, можно получить желаемые характеристики любого из видов, показанных на рисунке 3.8. Поэтому предложенная схема формирования корректирующих устройств является универсальной. Для общего случая линейный фильтр W_ϕ в фазовой ветви является форсирующим звеном, а фильтр W_A в амплитудной ветви – элементом, создающим ослабление амплитуды и отставание по фазе.[4]

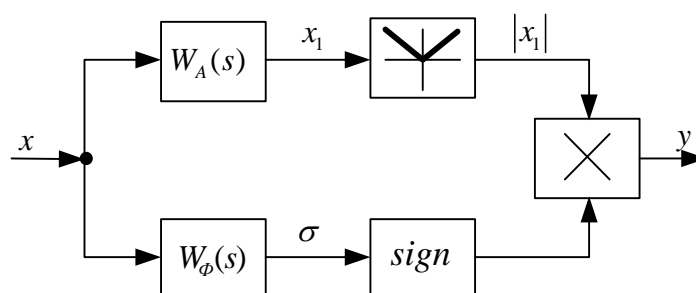


Рисунок 3.11 – Схема псевдолинейного корректирующего устройства с отдельными каналами для амплитуды и фазы

Входной сигнал разветвляется и проходит по двум каналам. Один из каналов (верхний) служит для формирования амплитудной характеристики и называется амплитудным, второй - фазовый канал формирует фазовую характеристику устройства.

Амплитудный канал состоит из линейного элемента с передаточной функцией $w_A(s)$ и модульного элемента (например, двухполупериодного выпрямителя). Амплитудная характеристика линейного элемента определяет амплитудную характеристику всего корректирующего устройства. Модульный элемент дает на выходе величину, пропорциональную амплитуде колебания на его входе и исключает прохождение информации о фазе входного сигнала x . Фильтр служит для выделения постоянной составляющей выпрямленного напряжения.

В фазовый канал входят линейный элемент с передаточной функцией $w_\phi(s)$ и блок сигнатуры (блок знака). Фазовая характеристика линейного элемента определяет фазовую характеристику всего корректирующего устройства. Блок сигнатуры исключает прохождение информации об амплитуде через фазовый канал и представляет собой релейное устройство с характеристикой, близкой к идеальной. При изменении знака сигнала на входе изменяется знак выходного сигнала блока сигнатуры, а величина его принимает лишь два фиксированных значения ± 1 , независимо от значения амплитуды входного сигнала. Выходная величина y корректирующего устройства получается в результате перемножения выходных величин амплитудного и фазового каналов в блоке умножения.

Приведенная на рисунке 3.11 структурная схема псевдолинейного корректирующего устройства является довольно общей. Выбирая линейные элементы с соответствующими передаточными функциями $w_A(s)$ и $w_\phi(s)$,

можно реализовать псевдолинейное корректирующее устройство с желаемыми, независимыми друг от друга амплитудой и фазовой частотными характеристиками.[5]

Форма сигналов в характерных точках схемы будет соответствовать сигналам, приведенным на рисунке 3.13.

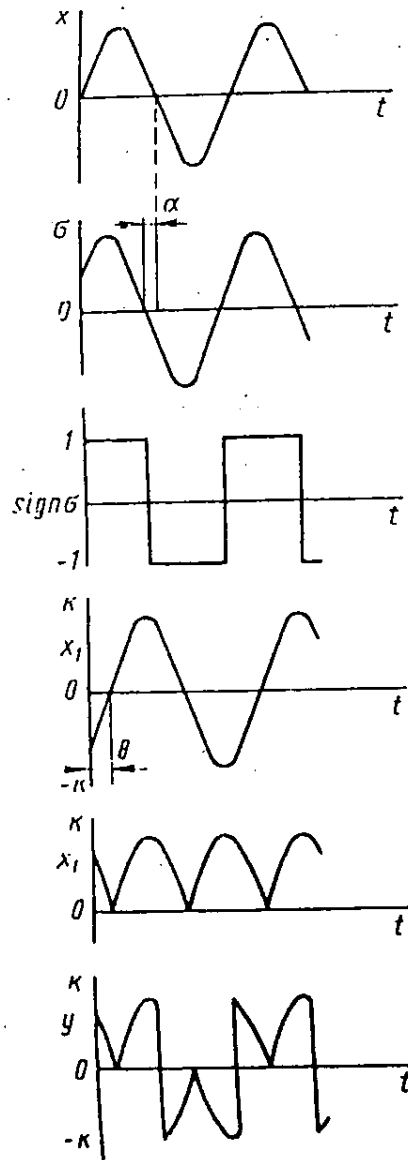


Рисунок 3.13- Формы сигналов в характерных точках нелинейного фильтра с разделенными каналами для амплитуды и фазы

После того как найдены коэффициенты гармонической линеаризации, частотные характеристики нелинейного фильтра с

разделенными каналами для амплитуды и фазы вычисляются по известным уже формулам:

$$q(A, \omega) = \sqrt{[a(A, \omega)]^2 + [b(A, \omega)]^2} ;$$

$$\mu(A, \omega) = \operatorname{arctg} \frac{b(A, \omega)}{a(A, \omega)} .$$

Пусть линейный фильтр W_Φ в фазовой ветви имеет передаточную функцию $W_\Phi(s) = \frac{T_1}{T} \cdot \frac{T \cdot s + 1}{T_A \cdot s + 1}$, а в амплитудной ветви применен линейный фильтр W_A с передаточной функцией вида:

$$W_A(s) = \frac{k}{T_2 \cdot s + 1} .$$

Обозначим отношение $\frac{T_2}{T}$ через γ , а $\frac{T_1}{T}$ через ν , тогда выражение для определения a и b можно записать в виде:

$$a = \frac{k}{\pi \sqrt{1 + \omega^2 \cdot \gamma^2 \cdot T^2}} \cdot [(\pi - 2\alpha - 2\theta) \cdot \cos \theta + \sin \theta + \cos \alpha \cdot \sin(\alpha + \theta) + \sin \alpha \cdot \cos(\alpha + \theta)]$$

;

$$b = \frac{k}{\pi \sqrt{1 + \omega^2 \cdot \gamma^2 \cdot T^2}} \cdot [(2\theta + 2\alpha - \pi) \cdot \sin \theta + \cos \theta + \sin \theta \cdot \sin 2\alpha - \cos \theta \cdot \cos 2\alpha]$$

,

где $\theta = \operatorname{arctg} \omega \gamma T$ – фазовое запаздывание, вносимое фильтром W_A ;

$\alpha = \operatorname{arctg} \frac{\omega \cdot T(1 - \nu)}{1 + \omega^2 \cdot T^2 \cdot \nu}$ – фазовое опережение, создаваемое фильтром

W_Φ .

Определим амплитудную характеристику нелинейного фильтра в виде произведения двух сомножителей:

$$q(\omega) = H_A(\omega) \cdot q_1(\omega), \text{ где } H_A(\omega) = \frac{k}{\sqrt{1 + \omega^2 \gamma^2 T^2}} - \text{амплитудная}$$

характеристика

фильтра W_A .

Второй сомножитель $q_1(\omega)$ характеризует дополнительное ослабление амплитуды, происходящей в нелинейном фильтре, и равен:

$$q_1(\omega) = \frac{1}{\pi} \cdot \sqrt{(a_1)^2 + (b_1)^2},$$

где $a_1 = (\pi - 2\alpha - 2\theta) \cdot \cos\theta + \sin\theta + \cos\alpha \cdot \sin(\alpha + \theta) + \sin\alpha \cdot \cos(\alpha + \theta)$;

$b_1 = (2\theta + 2\alpha - \pi) \cdot \sin\theta + \cos\theta + \sin\theta \cdot \sin 2\alpha - \cos\theta \cdot \cos 2\alpha$.

Логарифмические характеристики, выражающие зависимость q_1 и μ_1 от приведенной частоты $u = \omega T$ для ряда значений γ и ν , показаны на рисунке 3.14.

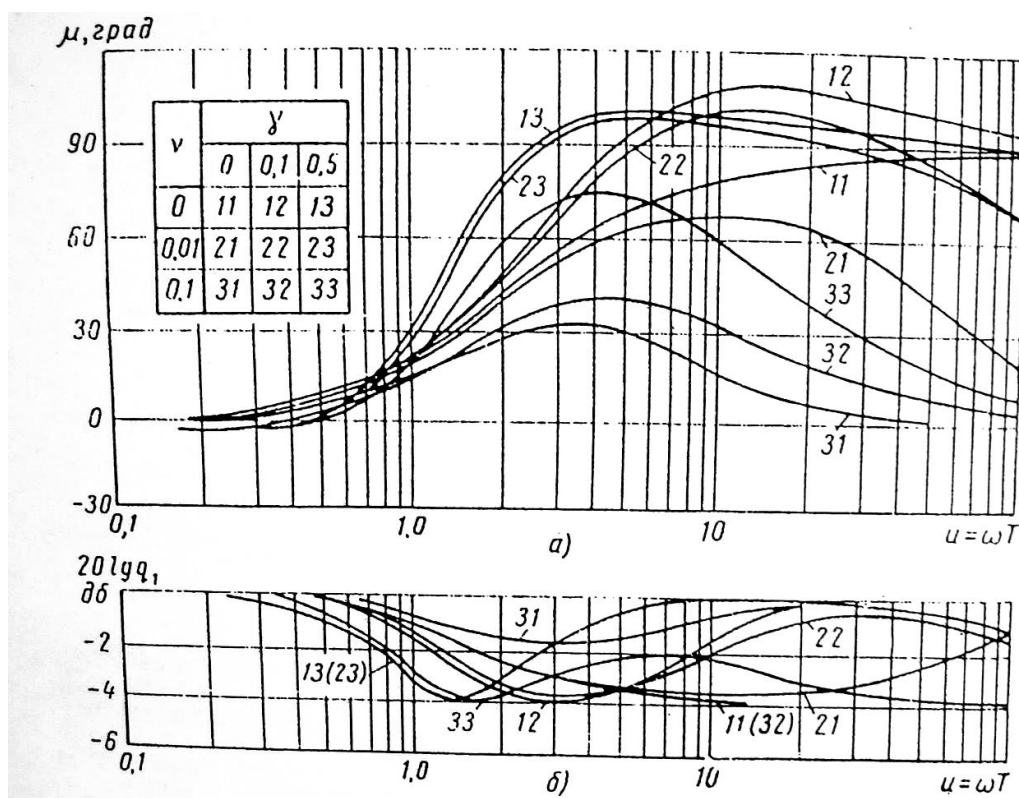


Рисунок 3.14 - Логарифмические частотные характеристики нелинейного фильтра с отдельными каналами для амплитуды и фазы:
 а – фазовые; б – характеристики дополнительного ослабления амплитуды

4 МЕТОДЫ СИНТЕЗА И НАСТРОЙКИ ПСЕВДОЛИНЕЙНОГО НЕЧЕТКОГО ПИД - РЕГУЛЯТОРА

Человек - оператор на основании опыта эксплуатации достаточно успешно справляется с задачей управления технологическим процессом. По мере накопления знаний оператор в начале в сознании создает модель поведения объекта, а затем – модель или метод управления им, состоящий из продукционных правил ЕСЛИ...ТО.

Значительное усиление эффективности популярных линейных ПИД - регуляторов возможно за счет нечеткой формализации знаний об управлении объектом, реализованной в нечетких ПИД - регуляторах.

Под синтезом нечеткого регулятора понимают определение его структуры (числа правил, лингвистических значений переменных или соотношений, связывающих входы и выходы), а под настройкой – уточнение его коэффициентов и параметров, задающих форму и положение функций принадлежности.

Эта глава посвящена описанию структуры нечеткого ПИД - регулятора, метода синтеза и способа настройки.

Нечеткая система управления содержит нечеткий регулятор, построенный на основе теории нечетких множеств, и объект управления. По отношению ко времени нечеткие системы регулирования и нечеткие регуляторы бывают непрерывными и дискретными. В данной работе рассматривается именно непрерывный вид нечеткого регулятора.

Структура нечеткого регулятора совпадает со структурой нечеткой модели с одним выходом и зависит от объекта управления и процесса управления, а также от требований к его качеству. Поскольку сфера применения нечеткого управления очень широка, возможны различные структуры регулятора, отличающиеся числом входов, нечеткими множествами, функциями принадлежности, формой управляющих правил, типами механизмов вывода и методами дефазификации.

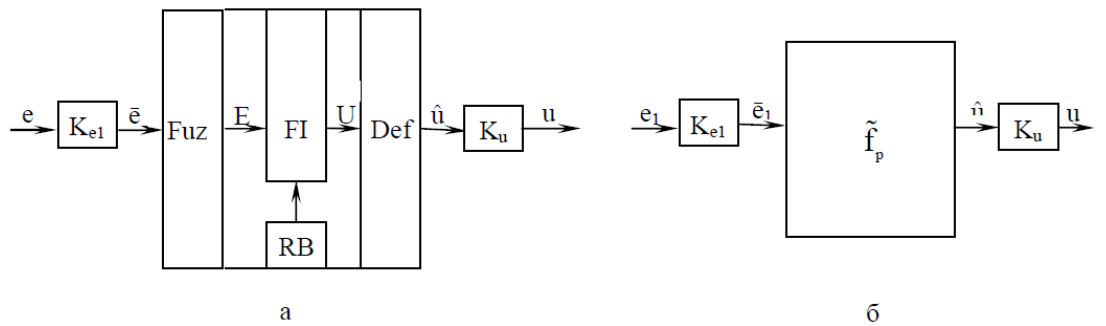


Рис. 4.1 – Упрощенная (а) и операторная (б) схемы нечеткого регулятора с одним входом

На рис. 4.1 изображена схема нечеткого регулятора, в котором имеются входная переменная e_1 и выходная переменная u , а также предусматривается выполнение следующих преобразований и операций. Действительные значения входа с помощью масштабируемого коэффициента K_{e1} преобразуется в масштабированное значение \hat{e}_1 , т.е. выполняется операция масштабирования:

$$\hat{e}_1 = K_{e1} e_1. \quad (4.1)$$

На практике широко используется нормализованный интервал в виде $[0;1]$.

Операция фаззификации Fuz (*Fuzzification*) преобразует масштабированный вход \hat{e}_1 в нечеткий вход E_1 .

Нечеткий вывод FI (*Fuzzy Inference*) определяет нечеткий выход U на основании нечеткого ввода E_1 и базы правил RB (*Rule Base*).

Операция дефаззификации выхода Def (*Defuzzification*) преобразует нечеткий выход U в масштабированное значение \hat{u} , которое превращается в действительное u умножением на коэффициент K_u :

$$u = K_u \hat{u}. \quad (4.2)$$

Центральным элементом нечеткого регулятора является блок нечеткого оператора \tilde{f}_p (рис. 4.1, б), выполняющего последовательно операции фаззификации, нечеткого вывода и дефаззификации и содержащего базу

правил. Таким образом, преобразование, осуществляемое нечетким оператором \tilde{f}_p , можно представить в следующем виде:

$$\tilde{f}_p : \langle \hat{e}_1 \rangle \xrightarrow{Fuz} \langle E, RB \rangle \xrightarrow{FI} \langle U \rangle \xrightarrow{Def} \langle \hat{u} \rangle. \quad (4.3)$$

Теперь необходимо рассмотреть схему непрерывной системы управления, имеющей нечеткий регулятор (P) с одним входом и тремя выходами, а также объект управления (ОУ), охваченную отрицательной обратной связью на рис. 4.2.

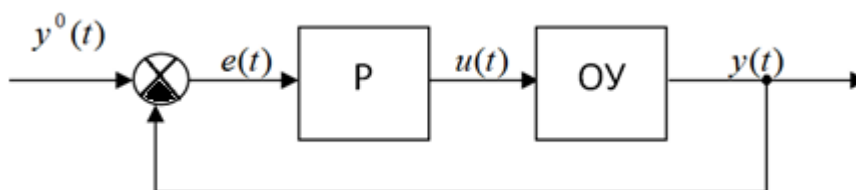


Рис. 4.2 – Схема непрерывной системы управления

Входом $e(t)$ непрерывного регулятора P на рис. 4.2 является ошибка или отклонение $e(t) = y^0(t) - y(t)$ задания $y^0(t)$ от текущего выхода объекта $y(t)$, а выходом регулятора – управление $u(t)$. Для непрерывной системы управления преобразование (1), реализующий непрерывный нечеткий оператор, имеет вид:

$$\tilde{f}_p : \langle \hat{e}(t) \rangle \xrightarrow{Fuz} \langle E, RB \rangle \xrightarrow{FI} \langle U \rangle \xrightarrow{Def} \langle \hat{u}(t) \rangle, \quad (4.4)$$

где $\hat{e}(t) = K_e e(t)$ - нормализованная или масштабированная ошибка, коэффициент масштабирования можно дать в виде K .

4.1 Традиционный нечеткий псевдолинейный ПИД – регулятор

Структурная схема системы с псевдолинейным нечетким регулятором приведена на рисунке 4.3.

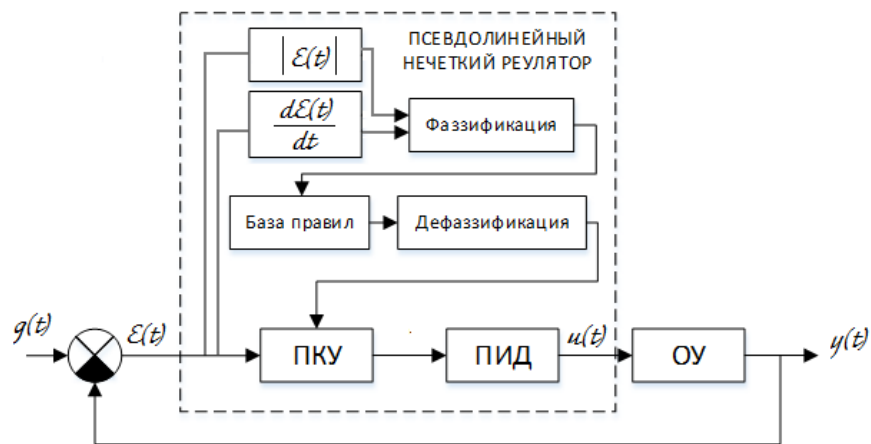


Рисунок 4.3 – Структурная схема системы с нечетким регулятором

Псевдолинейный нечеткий регулятор включает в свой состав нечеткое ПКУ, последовательно соединенное с классическим ПИД-регулятором. Подстройка параметров ПКУ осуществляется по модулю ошибки и скорости изменения ошибки.

На вход регулятора поступает необходимое для решения конкретной задачи число входных сигналов. В нечетком регуляторе происходит процедура фазификации, т.е. исходя из текущего значения четкого сигнала, на основании известных функций принадлежности каждому сигналу четкого вектора присваивается определенное входное значение. Программа нечеткого логического вывода (FIS-структура) на основании нечеткой базы знаний ставит в соответствие каждому входному вектору значений выходной нечеткий вектор, являющийся результатом нечеткого логического вывода. Значениям лингвистических переменных, составляющих выходной вектор, на основании функций принадлежности ставятся в соответствие определенные четкие значения, образующие выходной четкий вектор, т. е. происходит процедура дефазификации [7].

В данной работе используются ПКУ с амплитудным подавлением и ПКУ с фазовым опережением

4.2 Нечеткие управляющие правила

В общем виде нечеткие управляющие правила непрерывного нечеткого регулятора имеет вид:

$$R^\theta : \text{ЕСЛИ } \hat{e}(t) \text{ есть } E^\theta, \text{ ТО } \hat{u}(t) \text{ есть } U^\theta, \quad (4.6)$$

где E^θ, U^θ , — нечеткие множества, характеризующие ошибку $\hat{e}(t)$ и управление $\hat{u}(t)$ на непрерывном интервале времени $t \in [0, T]$ и принадлежащие соответствующим терм - множествам $E^\theta \in T_e, U^\theta \in T_u$ с элементами — лингвистическими значениями, определенными ниже.

На практике для описания входной $\hat{e}(t)$ и выходной $\hat{u}(t)$ переменных часто используются терм-множества с двумя N, P , тремя N, P, Z (отрицательное N (*Negative*), положительное P (*Positive*), нулевое Z (*Zero*)); пятью NB, NS, ZE, PS, PB ; семью $NB, NM, NS, ZE, PS, NM, PB$ (отрицательное большое NB (*Negative Big*), отрицательное среднее NM (*Negative Medium*), отрицательное малое NS (*Negative Small*), нулевое ZE (*Zero*), положительное малое PS (*Positive Small*), положительное среднее PM (*Positive Medium*), положительное большое PB (*Positive Big*)) и девятью лингвистическими значениями, полученными из семи путем добавления следующих двух значений: очень близкое к нулю отрицательное NZ (*Negative Zero*) и положительное PZ (*Positive Zero*) или очень большое отрицательное NVB (*Negative Very Big*) и положительное PVB (*Positive Very Big*). Для нечеткого регулятора с m входами (каждый описан n_1, n_2, \dots и n_m нечеткими множествами) и одним выходом число нечетких правил q равно произведению $q = n_1 \cdot n_2 \cdot \dots \cdot n_m$. Довольно часто для описания нечетких множеств NB, NM, \dots, PB используются треугольные функции принадлежности для переменных $x = \hat{e}(t), \hat{u}(t)$. Диапазон входной переменной $x \in [x^{\min}, x^{\max}]$. a - расстояние между функциями принадлежности. В ряде случаев $x^{\min} = -3a, x^{\max} = 3a$ или $x^{\min} = -2a, x^{\max} = 2a$.

Кроме того, используются нечеткие регуляторы с переменными, которые описываются пятью (NB, NS, ZE, PS, PB) и тремя (N, Z, P) нечеткими множествами с функциями принадлежности. Нечеткие множества N, Z, P характеризуют отрицательное, нулевое и положительное

значения переменных $\hat{e}(t)$, $\hat{u}(t)$. Довольно часто для описания выходной переменной используются синглетоновые нечеткие множества.

В большинстве случаев используют три формата представления нечетких правил: обычный, реляционный и табличный.

Теперь необходимо определить понятия линейных и нелинейных нечетких управляющих правил для дискретного нечеткого регулятора. Пусть входные переменные \hat{e} и $\Delta\hat{e}$ описываются соответственно n нечеткими множествами $E_i, \Delta E_j, i, j = 1, n$. Тогда полную базу правил будут составлять n^2 нечетких управляющих правил вида:

$$\text{ЕСЛИ } \hat{e} \text{ есть } E_i \text{ И } \Delta\hat{e} \text{ есть } E_j \text{ ТО } \hat{u} \text{ есть } U_{g(i,j)},$$

Определяется терм-множество $T_e = \{E_{-p}, E_{-p+1}, \dots, E_0, \dots, E_{p-1}, E_p\}$ переменной \hat{e} и терм-множество $T_{\Delta e} = \{\Delta E_{-p}, \Delta E_{-p+1}, \dots, \Delta E_0, \dots, \Delta E_{p-1}, \Delta E_p\}$ переменной $\Delta\hat{e}$, $n = 2p + 1$. Определяется линейная функция $g = i + j$, заданную терм - множеством $T_u = \{U_{-2p}, U_{-2p+1}, \dots, U_0, \dots, U_{2p-1}, U_{2p}\}$ переменной u , $r = 4p + 1$. Общим свойством линейных и нелинейных управляющих правил является их симметричность относительно диагонали таблицы.

5 ИССЛЕДОВАНИЕ СВОЙСТВ ПСЕВДОЛИНЕЙНОГО регулятора В СРЕДАХ MATHCAD И MATLAB

5.1 Исследование свойств двухканального корректирующего устройства

В данной работе для реализации регулятора в качестве корректирующего устройства выбрано псевдолинейное корректирующее устройство с отдельными каналами для фазы и амплитуды, схема которого представлена на рисунке 3.1.

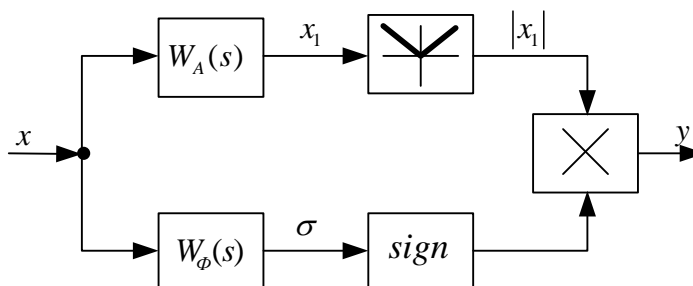


Рисунок 5.1 – Схема псевдолинейного корректора с отдельными каналами для фазы и амплитуды

Используемое устройство включает в себя два канала управления и работает следующим образом. Входной сигнал, разветвляясь, проходит по двум каналам.

Верхний амплитудный канал состоит из линейного элемента с передаточной функцией $W_A(s)$ и блока выделения модуля сигнала. В нижний фазовый канал входят линейный элемент с передаточной функцией $W_\phi(s)$ и блок сигнатуры (блок знака) *sign*.

В амплитудном канале передаточная функция $W_A(s)$ определяется по формуле

$$W_A(s) = \frac{k}{T_2 s + 1}, \quad (5.1)$$

где k – коэффициент передачи апериодического звена; T_2 – постоянная времени.

Фазовый канал содержит звено с передаточной функцией

$$W_{\phi}(s) = \frac{Ts + 1}{T_1s + 1}, \quad (5.2)$$

где T, T_1 – постоянные времени.

Установившаяся реакция корректирующего устройства на входной синусоидальный сигнал $x = A \sin(\omega t)$ имеет несинусоидальную форму $y = F(x)$.

Приближенное представление вынужденных колебаний, т.е. учет только основной синусоиды (первой гармоники) при разложении в ряд Фурье, эквивалентно гармонической линейаризации. На основании этого, для определения первой гармоники вынужденных колебаний величины $y = F(x)$ можно воспользоваться частотным аппаратом, применяемым для линейных систем.

Введем в рассмотрение эквивалентную амплитудно-фазовую характеристику корректирующего устройства, полученную в результате гармонической линейаризации

$$J(A, \omega) = a(A, \omega) + jb(A, \omega), \quad (5.3)$$

где $a(A, \omega)$ и $b(A, \omega)$ – коэффициенты гармонической линейаризации, в общем случае зависящие от амплитуды и частоты входного сигнала.

Выражение (3) можно представить в виде

$$J(A, \omega) = q(A, \omega)e^{j\mu(A, \omega)}, \quad (5.4)$$

где $q(A, \omega)$ – эквивалентная амплитудная характеристика нелинейного звена

$$q(A, \omega) = \sqrt{[a(A, \omega)]^2 + [b(A, \omega)]^2}; \quad (5.5)$$

$\mu(A, \omega)$ – эквивалентная фазовая характеристика нелинейного звена

$$\mu(A, \omega) = \operatorname{arctg} \frac{b(A, \omega)}{a(A, \omega)}. \quad (5.6)$$

У псевдолинейных корректирующих устройств коэффициенты гармонической линейаризации $a(A, \omega)$ и $b(A, \omega)$ зависят только от частоты.[4]

Коэффициенты гармонической линеаризации корректирующего устройства определяются по формулам

$$a = \frac{2}{\pi \cdot A} \int_0^{\pi} F(A \sin(\omega t)) \cdot \sin(\omega t) d(\omega t); \quad (5.7)$$

$$b = \frac{2}{\pi \cdot A} \int_0^{\pi} F(A \sin(\omega t)) \cdot \cos(\omega t) d(\omega t). \quad (5.8)$$

Для данного корректирующего устройства коэффициенты имеют вид

$$a = \frac{2}{\pi \cdot A} \int_0^{\pi} [|x_1| \cdot \text{sign} \sigma] \cdot \sin(\omega t) d(\omega t); \quad (5.9)$$

$$b = \frac{2}{\pi \cdot A} \int_0^{\pi} [|x_1| \cdot \text{sign} \sigma] \cdot \cos(\omega t) d(\omega t). \quad (5.10)$$

Обозначим отношение $\frac{T_2}{T}$ через γ , а $\frac{T_1}{T}$ через ν для определения коэффициентов a и b .

Поскольку внутри интервала $(0, \pi)$ происходит изменение знака x_1 и σ , входящих в подынтегральное выражение, интервал интегрирования разбивается на три: $(0, \theta)$, (θ, α) и (α, π) , где θ – фазовое запаздывание, вносимое фильтром W_A

$$\theta = \text{arctg } \omega \gamma T; \quad (5.11)$$

α – фазовое опережение, создаваемое фильтром W_ϕ

$$\alpha = \text{arctg } \frac{\omega T(1-\nu)}{1+\omega^2 T^2 \nu}. \quad (5.12)$$

Коэффициенты a и b , вычисленные по формулам (9) и (10) с учетом замечаний (11) и (12), будут иметь вид:

$$a = \frac{k}{\pi \sqrt{1+\omega^2 \gamma^2 T^2}} [(\pi - 2\alpha - 2\theta) \cos \theta + \sin \theta + \cos \alpha \sin(\alpha + \theta) + \sin \alpha \cos(\alpha + \theta)]; \quad (5.13)$$

$$b = \frac{k}{\pi \sqrt{1+\omega^2 \gamma^2 T^2}} [(2\theta + 2\alpha - \pi) \sin \theta + \cos \theta + \sin \theta \sin 2\alpha - \cos \theta \cos 2\alpha]. \quad (5.14)$$

Выражения (13) и (14) свидетельствуют о том, что коэффициенты гармонической линеаризации a и b зависят только от частоты, таким образом амплитудная и фазовая характеристики выбранного корректирующего устройства, которые определяются формулами

$$A(\omega) = \sqrt{a^2 + b^2}; \quad (5.15)$$

$$\varphi(\omega) = \operatorname{arctg}\left(\frac{b}{a}\right). \quad (5.16)$$

также зависят лишь от частоты и не зависят от амплитуды входного сигнала.[4]

В программном пакете MatLab КУ для случая синусоидального входного сигнала будет выглядеть следующим образом (рисунок 5.2):

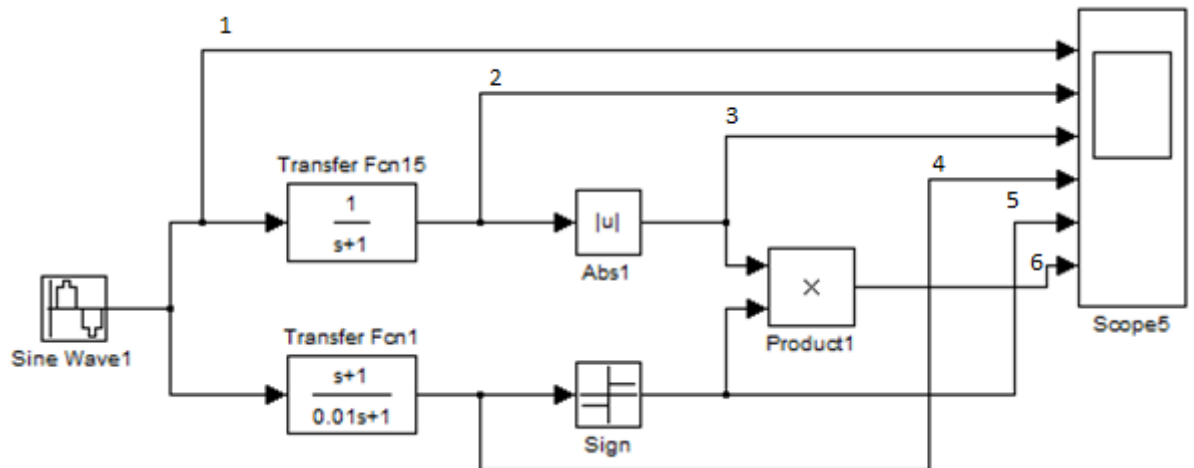


Рисунок 5.2 –Модель псевдолинейного корректора с отдельными каналами для фазы и амплитуды в ППП MatLab

Форма сигналов в характерных точках схемы КУ для случая синусоидального входного сигнала будет соответствовать сигналам, приведенным на рисунке 5.3:

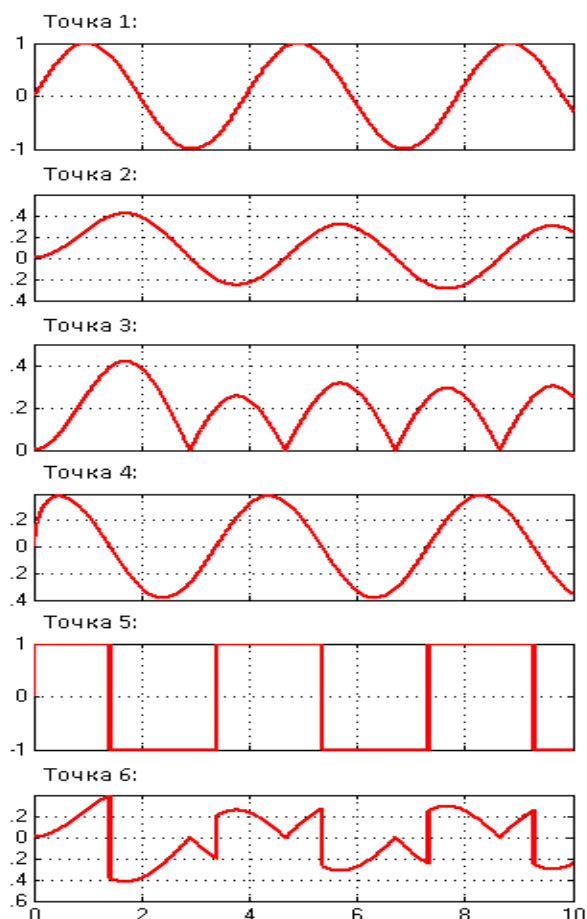


Рисунок 5.3 – Форма сигналов в характерных точках псевдолинейного двухканального корректирующего устройства для случая синусоидального входного сигнала

Частотные характеристики корректирующего устройства при различных значениях параметра T фазового канала вычисляются по уже известным формулам (15) и (16), после того как найдены коэффициенты гармонической линеаризации.

Логарифмическая амплитудная характеристика определяется по формуле:

$$L(\omega) = 20 \cdot \log \sqrt{a^2 + b^2} = 20 \cdot \log A(\omega). \quad (5.17)$$

В программном пакете MathCad были построены семейства ЛАЧХ и ФЧХ при значениях параметра $T = 1 \div 100$ фазового канала корректирующего устройства.

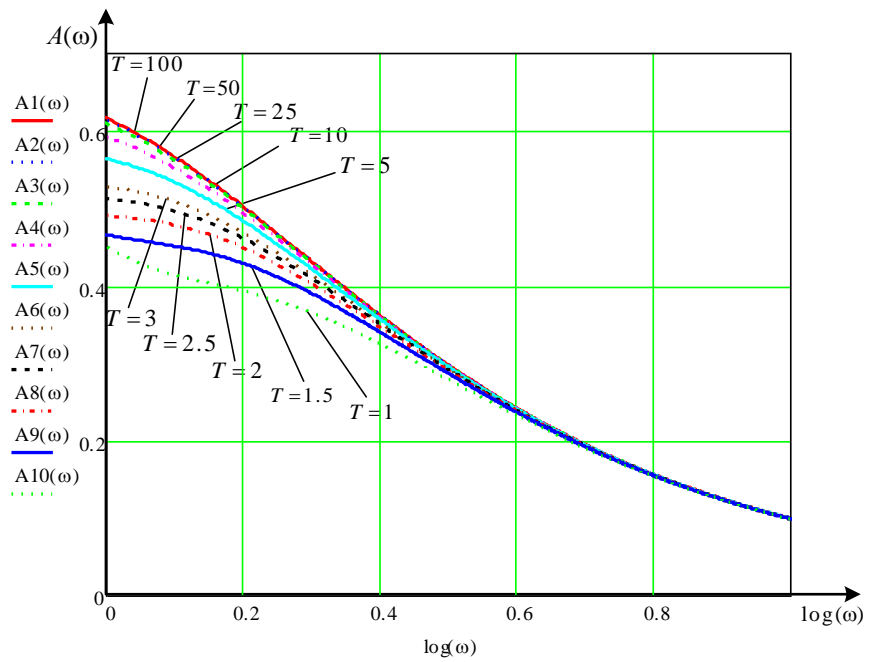


Рисунок 5.4 – Семейство АЧХ КУ при разных значениях параметра T фазового канала

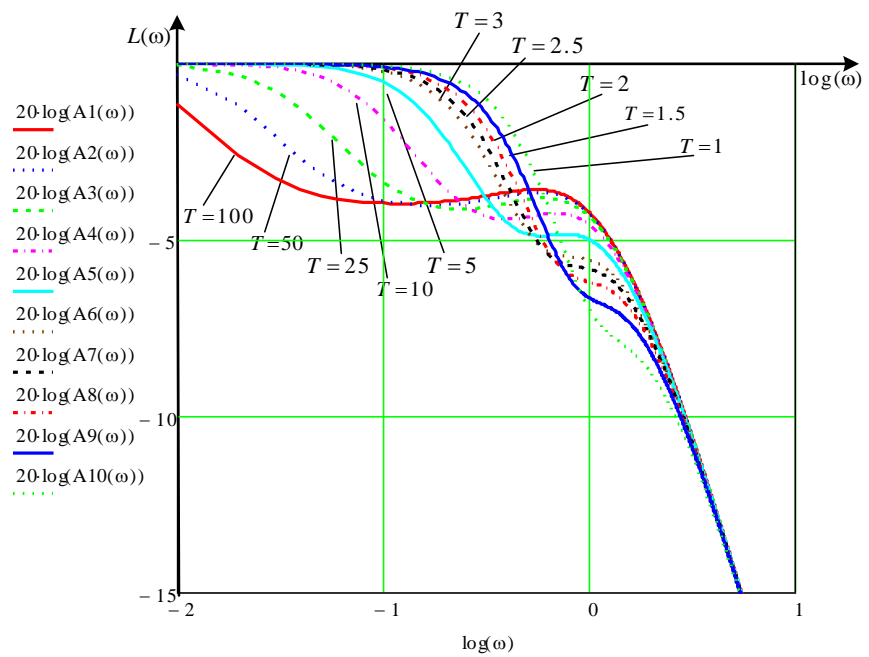


Рисунок 5.5 – Семейство ЛАЧХ КУ при разных значениях параметра T фазового канала

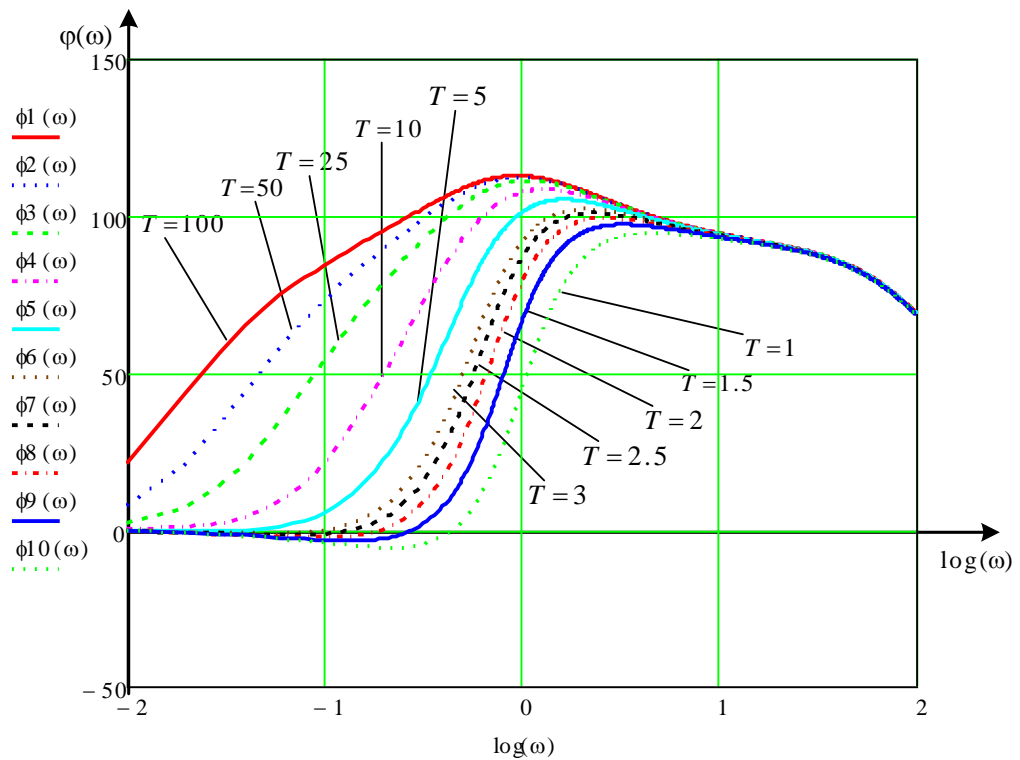


Рисунок 5.6 – Семейство ЛФЧХ КУ при разных значениях параметра T фазового канала

Для увеличения запаса устойчивости системы следует изменить ЛФЧХ системы на определенное значение фазового сдвига. Анализируя семейства ЛАЧХ и ЛФЧХ фазового канала, можно отметить, что, исследуемый псевдолинейный корректор позволяет получить положительный сдвиг по фазе более чем на 130 градусов, и таким образом, позволяет получить устойчивую САР при значительных изменениях параметров объектов системы.

5.2 Исследование свойств системы управления

Ниже рассмотрена работа двухканального псевдолинейного корректирующего устройства (ПКУ) на примере системы с ОУ второго порядка с ПИ и ПИД-регуляторами. Параметры ПИД-регулятора остаются неизменными и равными $K_p=0.4$, $K_i=0.3$, $K_d=0.01$. Параметры ПИ-регулятора также остаются неизменными и равными $K_p=0.4$, $K_i=0.3$. Начальными значениями параметров настройки ПКУ примем для амплитудного канала – $K=1$, $T_2=0.1$, для фазового канала – $T=1$, $T_1=0.1$. Примем постоянными все параметры ОУ, кроме коэффициента T_1 при старшей степени знаменателя. Изменяя коэффициент T_1 в интервале $[0.5;20]$ и анализируя качество переходного процесса, сделаем выводы о необходимости и результативности применения ПКУ с ПИ и ПИД-регулятором. Результаты моделирования представлены в таблицах 5.1 и 5.2.

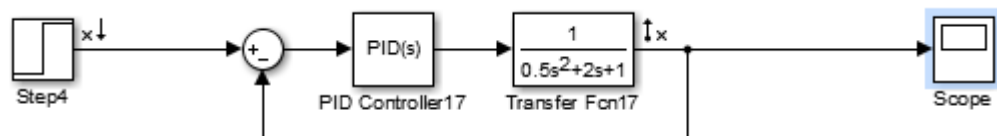


Рисунок 5.7 – Модель системы второго порядка

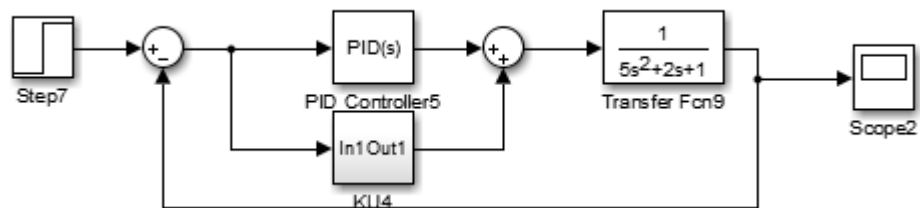


Рисунок 5.8 – Схема параллельного подключения ПКУ

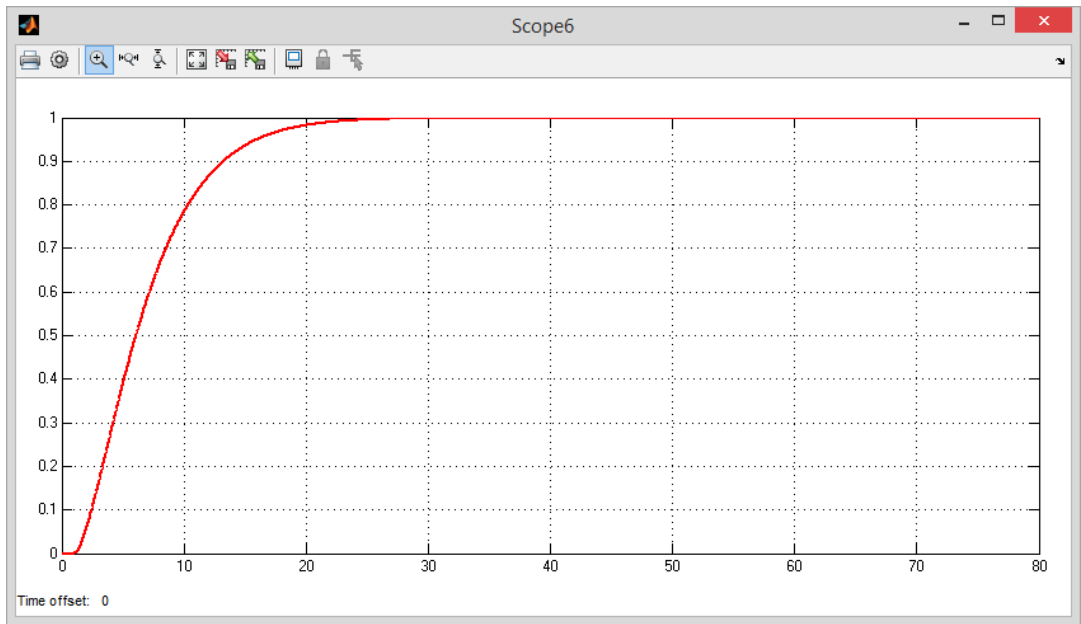


Рисунок 5.9 – График переходной характеристики системы для ОУ второго порядка при $T=0.5$

Результаты моделирования приведены в таблицах 1,2.

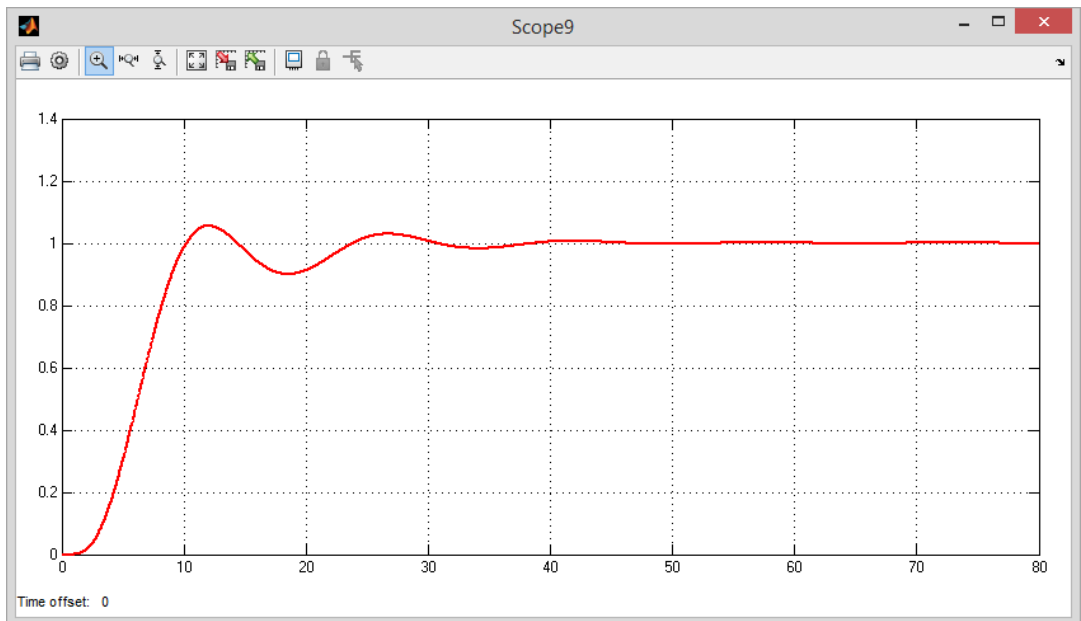


Рисунок 5.10 – График переходной характеристики системы ОУ второго порядка при $T=5$ без ПКУ

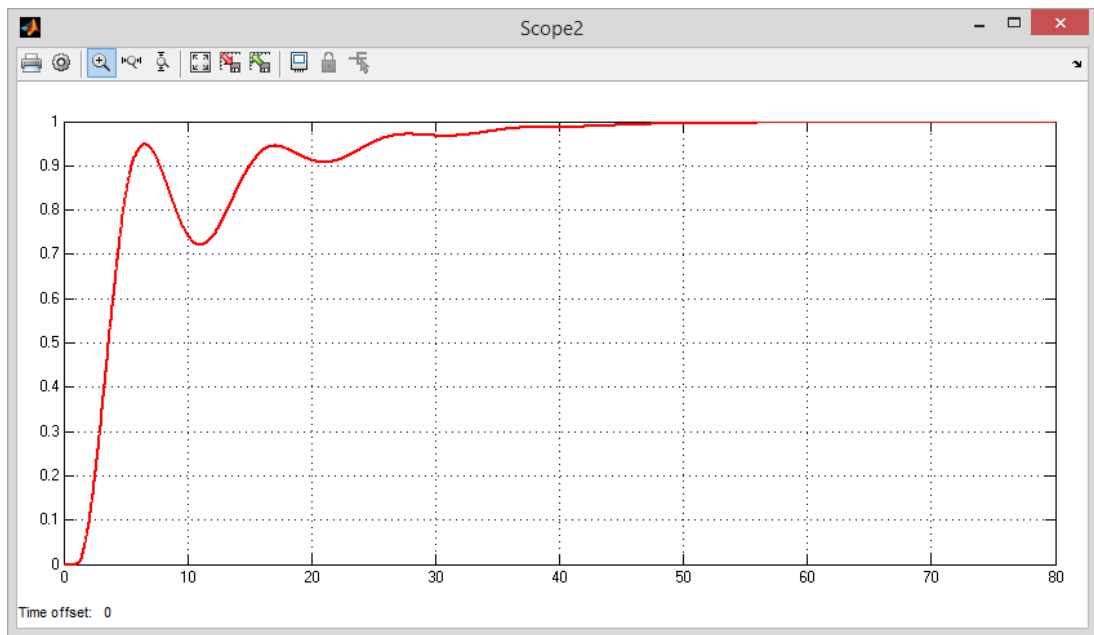


Рисунок 5.11 – График переходной характеристики системы ОУ второго порядка при $T=5$ с ПКУ

Таблица 5.1 - Результаты моделирования САР с ПИД-регулятором и ПКУ

Параметр T_{OU}	Параметр $T_{ПКУ}$	Параметр T_1 ПКУ	Параметр K ПКУ	Характеристики переходного процесса САР с ПИД-регулятором без ПКУ	Характеристики переходного процесса САР с ПИД-регулятором с ПКУ
.5	0.1	2	1	Сходящийся, перерегулирование 0%, время регулирования 10с	Сходящийся, перерегулирование 0%, время регулирования 32,8с
.5	0.1	2	1	Сходящийся, перерегулирование 0%,	Сходящийся, перерегулирование 0%,

				время регулирования 13с	время регулирования 32,8с
	0.1	2	1	Сходящ ийся, перерегу- лирование 0%, время регулирования 15с	Сходящ ийся, перерегу- лирование 0%, время регулирования 32,85с
.5	0.1	2	1	Сходящ ийся, перерегу- лирование 6%, время регулирования 15с	Сходящ ийся, перерегу- лирование 0%, время регулирования 32,85с
	0.1	2	1	Сходящ ийся, перерегу- лирование 21%, время регулирования 30с	Сходящ ийся, перерегу- лирование 0%, время регулирования 34с
0	10	1	1	Расходя щийся	Сходящ ийся, перерегу- лирование 3%, время регулирования 44с
5	10	1	1	Расходя щийся	Сходящ ийся, перерегу- лирование 20%, время регулирования 75с

0	10	1	1	Расходящийся	Расходящийся
---	----	---	---	--------------	--------------

Таблица 5.2 - Результаты моделирования САР с ПИ-регулятором и ПКУ

Параметр Т _{ОУ}	Параметр Т _{ПКУ}	Параметр Т ₁ ПКУ	Параметр К _{ПКУ}	Характеристики переходного процесса САР с ПИ-регулятором без ПКУ	Характеристики переходного процесса САР с ПИ-регулятором с ПКУ
0.5	0.1	2	1	Сходящийся, перерегулирование 0%, время регулирования 16	Сходящийся, перерегулирование 0%, время регулирования 27,6с
1.5	0.1	2	1	Сходящийся, перерегулирование 0%, время регулирования 16с	Сходящийся, перерегулирование 0%, время регулирования 27,8с
2	0.1	2	1	Сходящийся, перерегулирование 0%, время регулирования 16,2с	Сходящийся, перерегулирование 0%, время регулирования 27,8с

2. 5	0. 1	2	1	Сходящийся, перерегулирование 0%, время регулирования 16,7с	Сходящийся, перерегулирование 0%, время регулирования 27,8с
5	0. 1	2	1	Сходящийся, перерегулирование 1,5%, время регулирования 21,8с	Сходящийся, перерегулирование 0%, время регулирования 25,9с
10	10	1	1	Сходящийся, перерегулирование 25%, время регулирования 62,4с	Сходящийся, перерегулирование 9%, время регулирования 33с
15	10	1	1	Расходящийся	Сходящийся, перерегулирование 27%, время регулирования 217с
20	10	1	1	Расходящийся	Расходящийся

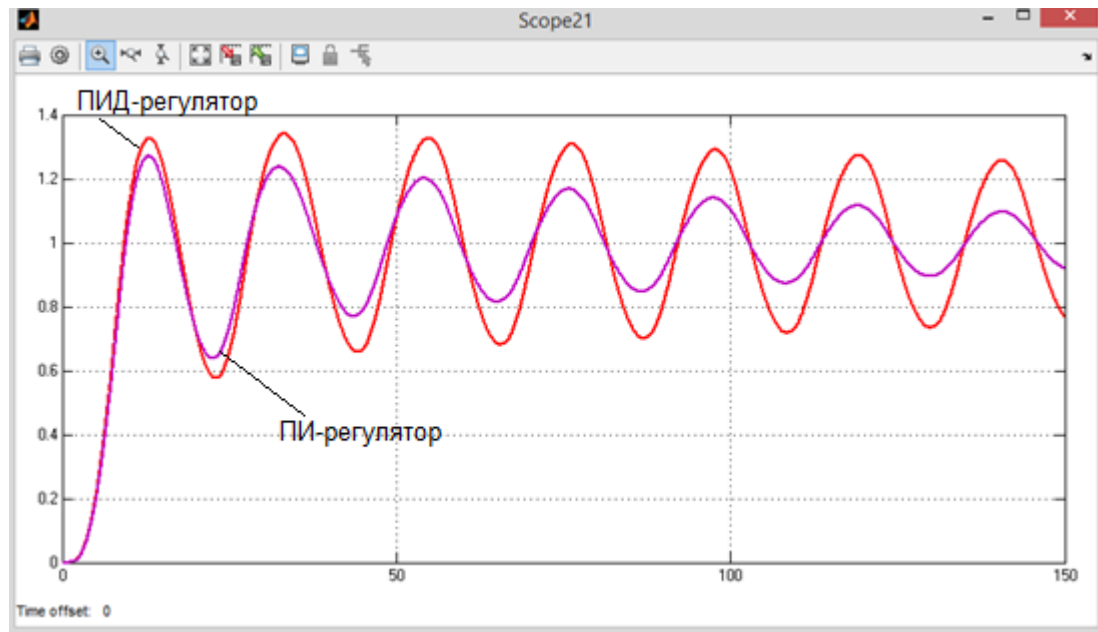


Рисунок 5.12– Графики переходных процессов при $T=15$ с ПИД и ПИ-регуляторами

По данным таблицы можно сказать, что использование ПИ-регулятора при параллельном подключении более целесообразно, так как при использовании ПИ-регулятора время регулирования и перерегулирование меньше, чем при использовании ПИД-регулятора.

Система с запаздыванием

Рассмотрим возможности ПКУ в системе с запаздыванием. Системы с запаздыванием отличаются тем, что в одном или нескольких из своих звеньев имеют запаздывание во времени начала изменения выходной величины (после начала изменения входной) на величину τ , называемую временем запаздывания, причем это время запаздывания остается постоянным и во всем последующем ходе процесса. Запаздывание достигается введением в систему звена чистого запаздывания ($\tau = 1$ с). В таблице 3 и 4 показаны результаты моделирования системы запаздывания с объектом управления второго порядка с использованием ПИ и ПИД-регулятора.

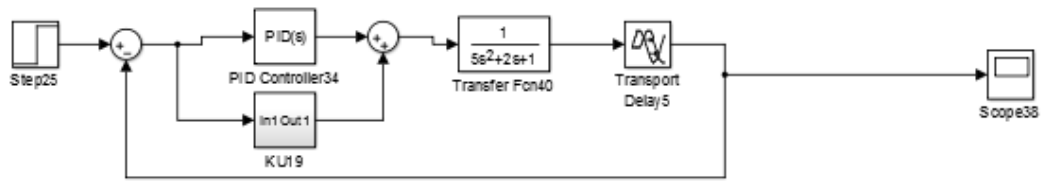


Рисунок 5.13 – Модель САР второго порядка с запаздыванием

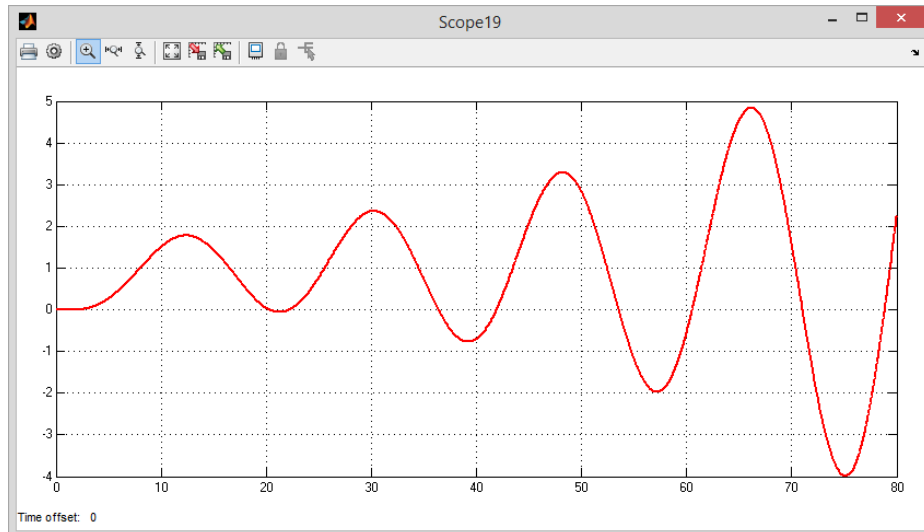


Рисунок 5.14 – График переходной характеристики системы с запаздыванием с ОУ второго порядка без использования КУ при $T=10$

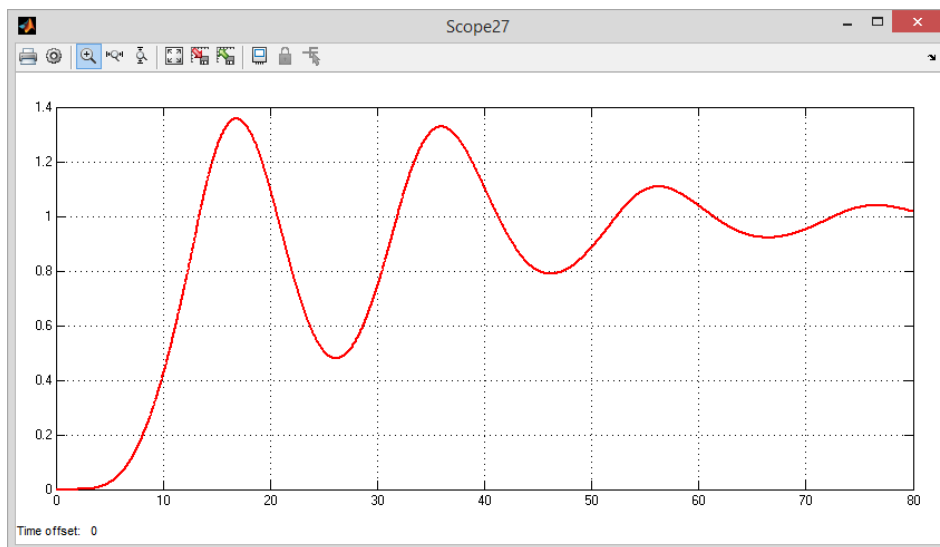


Рисунок 5.15 – График переходной характеристики системы с запаздыванием с ОУ второго порядка с КУ при $T=10$

Таблица 5.3 - Результаты моделирования САР с запаздыванием с ПИД-регулятором и ПКУ

П араметр Т ОУ	П араметр Т ПКУ	П араметр Т ₁ ПКУ	П араметр К ПКУ	Харак теристики переходного процесса САР с ПИД- регулятором без ПКУ	Харак теристики переходного процесса САР с ПИД- регулятором с ПКУ
0. 5	0. 1	2	1	Сходя щийся, перерегу- лирование 0%, время регулирования 15,6с	Сходя щийся, перерегу- лирование 0%, время регулирования 15,4с
1. 5	0. 1	2	1	Сходя щийся, перерегу- лирование 0%, время регулирования 15,03с	Сходя щийся, перерегу- лирование 0%, время регулирования 14,7с
2	0. 1	2	1	Сходя щийся, перерегу- лирование 0%, время регулирования 14,5с	Сходя щийся, перерегу- лирование 0%, время регулирования 14,3с
2. 5	0. 1	2	1	Сходя щийся, перерегу- лирование 0%, время	Сходя щийся, перерегу- лирование 0%, время

				регулювання 13,9с	регулювання 13,7с
5	0. 1	2	1	Сходя щийся, перерегу- лирование 8%, время регулювання 21,4с	Сходя щийся, перерегу- лирование 8%, время регулювання 26,2с
10	10	1	1	Сходя щийся, перерегу- лирование 33%, время регулювання 118,5 с	Сходя щийся, перерегу- лирование 22%, время регулювання 61с
15	10	1	1	Расход ящийся	Сходя щийся, перерегу- лирование 35%, время регулювання 80,5с
20	10	1	1	Расход ящийся	Сходя щийся, перерегу- лирование 71%, время регулювання 150с

Таблица 5.4 - Результаты моделирования САР с запаздыванием с ПИ-регулятором и ПКУ

П араметр Т ОУ	П араметр Т ПКУ	П араметр Т ₁ ПКУ	П араметр К ПКУ	Харак теристики переходного процесса САР с ПИ- регулятором без ПКУ	Харак теристики переходного процесса САР с ПИ- регулятором с ПКУ
0. 5	0. 1	2	1	Сходя щийся, перерегу- лирование 0%, время регулирования 13,4с	Сходя щийся, перерегу- лирование 0%, время регулирования 13,2с
1. 5	0. 1	2	1	Сходя щийся, перерегу- лирование 0%, время регулирования 12,7с	Сходя щийся, перерегу- лирование 0%, время регулирования 12,5с
2	0. 1	2	1	Сходя щийся, перерегу- лирование 0%, время регулирования 12,1с	Сходя щийся, перерегу- лирование 0%, время регулирования 11,8с
2. 5	0. 1	2	1	Сходя щийся, перерегу- лирование 0%, время	Сходя щийся, перерегу- лирование 0%, время

				регулювання 11,4с	регулювання 11,2с
5	0. 1	2	1	Сходя щийся, перерегу- лювання 13%, время регулювання 24,5с	Сходя щийся, перерегу- лювання 12%, время регулювання 25с
10	10	1	1	Сходя щийся, перерегу- лювання 44%, время регулювання 118,5 с	Сходя щийся, перерегу- лювання 24%, время регулювання 74с
15	10	1	1	Расход ящийся	Сходя щийся, перерегу- лювання 38%, время регулювання 93с
20	10	1	1	Расход ящийся	Сходя щийся, перерегу- лювання 71%, время регулювання 110с

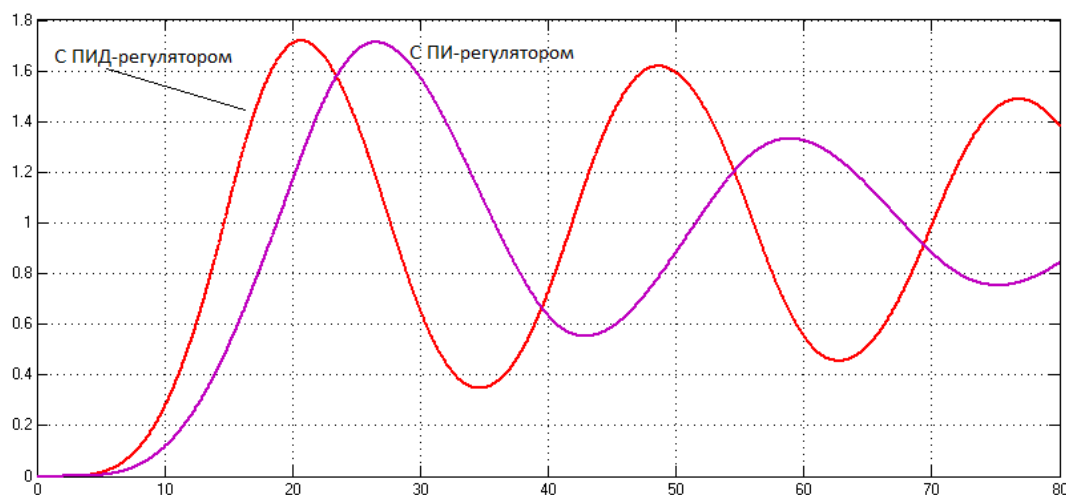


Рисунок 5.16 – График переходной характеристики системы с запаздыванием с ОУ второго порядка при $T=10$ с ПИ- и ПИД-регулятором

В соответствии с результатами моделирования, система с ПКУ и ПИ-регулятором работает лучше, время регулирования и величина перерегулирования значительно меньше, чем с ПИД-регулятором.

Данные моделирования систем первого и третьего порядка, а также последовательное подключение ПКУ и ПИ, ПИД-регуляторов представлены в приложении Б.

Исследование САР с ПИД-регулятором и ПКУ для выбранных значений параметров ОУ и ПКУ позволило получить кусочно-линейную функцию, согласно которой будет проводиться адаптивное регулирование САР. Кусочно-линейная функция в виде таблицы 5 представлена ниже

Таблица 5.5 – Кусочно-линейная функция для адаптивной САР с ПКУ

Параметр T_1 ОУ	Параметр T ПКУ	Параметр T_1 ПКУ	Параметр K ПКУ
1÷6	1	0.1	1
7÷23	10	1	1
>23	10	1	0.1

В результате исследования было установлено, что для повышения качества САР с изменяющимися с течением времени параметрами,

целесообразно использовать псевдолинейный регулятор, состоящий из параллельно подключенных ПИ-регулятора и псевдолинейного корректирующего устройства.

5.3 Система управления с адаптивным псевдолинейным двухканальным корректирующим устройством

По способу адаптации САУ делятся на два вида:

- поисковые адаптивные системы;
- беспойсковые адаптивные системы.

В поисковой адаптивной системе для изучения объекта подаются специальные (поисковые) сигналы, которые добавляются к задающему воздействию. Анализируя реакцию системы на поисковый сигнал, определяют каким образом менять параметры корректирующих устройств. Среди поисковых адаптивных САУ широко распространены экстремальные системы. Статические характеристики ОУ таких систем обладают явно выраженным экстремумом. Положение экстремума меняется, если меняются параметры ОУ. Цель адаптации в поисковых САУ состоит в поддержании экстремума.

В беспойсковых системах никакого сигнала для изучения поведения ОУ не подаётся. В таких системах значения управляющих воздействий (УВ) выбираются на основе определения условий, обеспечивающих заданное качество процесса управления. По способу получения информации об ОУ беспойсковые системы делятся на адаптивные системы с эталонной моделью (рисунок 2.8) и адаптивные системы с идентификатором (рисунок 2.9).

В данной работе адаптация системы проводилась с использованием поисковых сигналов. В качестве поискового сигнала в данной работе используется последовательность прямоугольных импульсов известной частоты ($\nu = 1/T$, где T - период следования импульсов) и амплитуды (h) (рисунок 3.12):

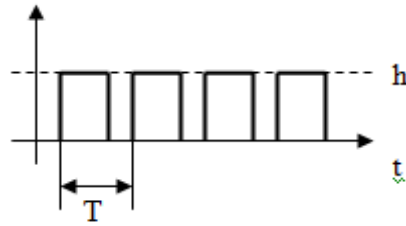


Рисунок 5.12 – Прямоугольные импульсы поискового сигнала

Структура адаптивной системы с поисковым сигналом имеет вид (рисунок 5.13):



Рисунок 5.13 – Структура адаптивной системы с поисковым сигналом

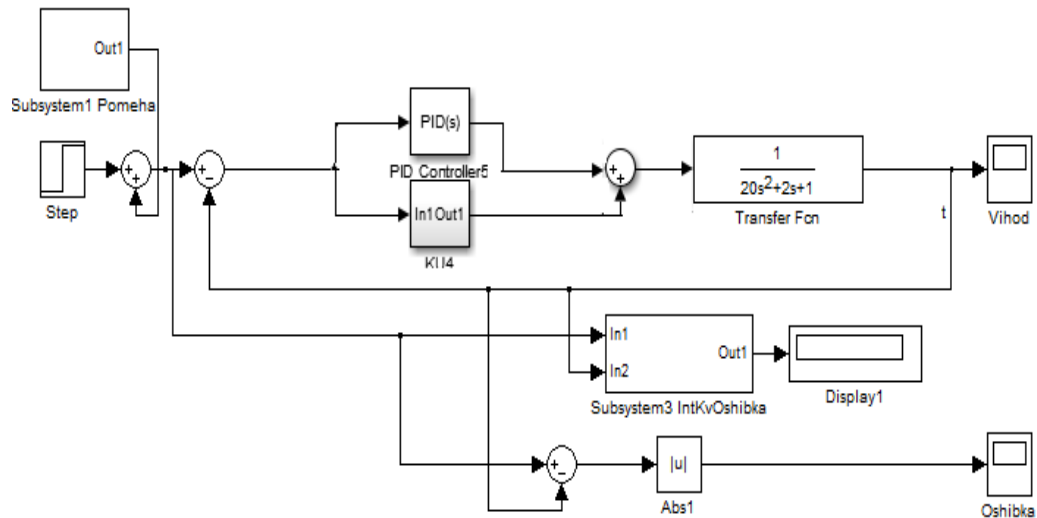
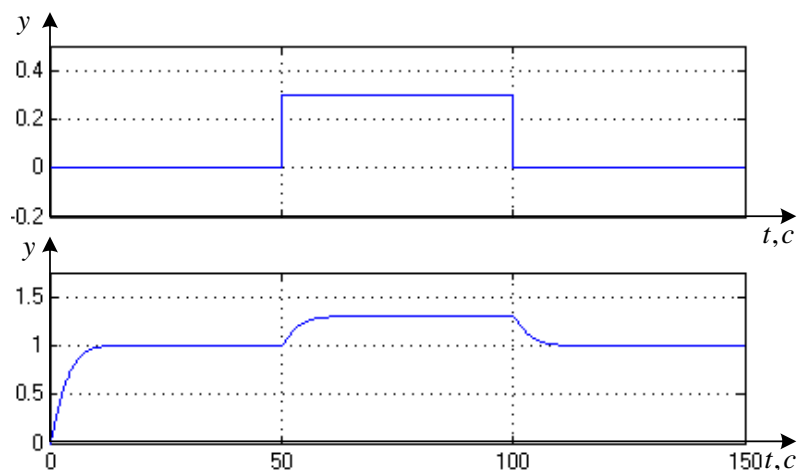
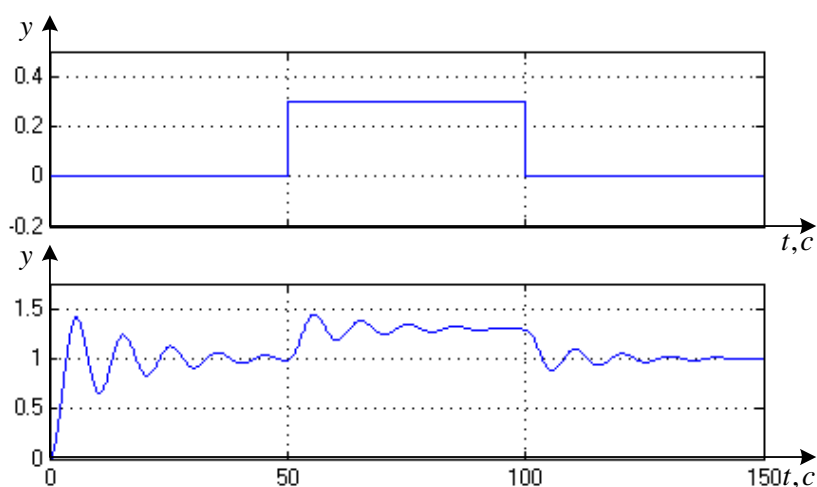


Рисунок 5.14 – Схема адаптивной системы в ППП Matlab

На входе адаптивной САУ к задающему единичному ступенчатому воздействию x добавляется поисковый сигнал. Если в момент подачи поискового сигнала система была устойчива и имела монотонный характер переходного процесса, то реакция системы на пробный сигнал будет следующей (рисунок 5.14, а):



а



б

Рисунок 5.15 – Реакция системы на пробный импульс

Если на момент подачи пробного сигнала параметры системы изменились так, что она перестала быть устойчивой или переходный процесс стал колебательным, то реакция на пробный сигнал будет иметь вид рисунок 5.14, б Появление такой реакции является сигналом к тому, что свойства ОУ ухудшились и необходимо начать корректировку параметров КУ, чтобы улучшить качество управления объектом.

За время действия пробного импульса определяется значение интегрального квадратичного критерия. Если это значение превышает значение критерия для ОУ с требуемыми показателями качества, то подключается блок адаптации параметров корректирующего устройства, который будет изменять параметры этого устройства.

После того, как в системе установился переходный процесс, подаётся пробный импульс, по фронту которого определяется эталонное значение критерия $I_{\text{эт}}$. Далее в системе по мере поступления пробных импульсов будут определяться текущие значения критерия $I_{\text{тек}}$ и сравниваться с эталонным значением критерия. Значение параметра корректирующего устройства определяется по линейной зависимости параметра корректирующего устройства от отклонения значения интегрального квадратичного критерия:

$$\Delta I = I_{\text{тек}} - I_{\text{эт}}. \quad (5.26)$$

6 РАЗРАБОТКА И ИССЛЕДОВАНИЕ СВОЙСТВ ПСЕВДОЛИНЕЙНОГО НЕЧЕТКОГО ПИД - РЕГУЛЯТОРА И СИСТЕМ УПРАВЛЕНИЯ С ДАННЫМ РЕГУЛЯТОРОМ В СРЕДЕ MATLAB

6.1. Работа в пакете прикладного программирования MatLab с нечеткой логикой

MATLAB (сокращение от англ. “*Matrix Laboratory*”) — пакет прикладных программ для решения задач технических вычислений и одноимённый язык программирования, используемый в этом пакете.

Язык *MATLAB* является высокоуровневым интерпретируемым языком программирования, включающим основанные на матрицах структуры данных, широкий спектр функций, интегрированную среду разработки, объектно-ориентированные возможности и интерфейсы к программам, написанным на других языках программирования.

Fuzzy Logic Toolbox – это пакет расширения *MATLAB*, содержащий инструменты для проектирования систем нечеткой логики. Пакет позволяет создавать экспертные системы на основе нечеткой логики, проводить кластеризацию нечеткими алгоритмами, а также проектировать нечеткие нейросети. Пакет включает графический интерфейс для интерактивного пошагового проектирования нечетких систем, функции командной строки для разработки программ, а также специальные блоки для построения систем нечеткой логики в Simulink.

Редактор систем нечеткого вывода FIS (или просто редактор FIS) является основным средством, которое используется для создания или редактирования систем нечеткого вывода в графическом режиме. Редактор FIS может быть открыт с помощью ввода функции *fuzzy* или *fuzzy ('fismat')* в окне команд. Эта функция предоставляет пользователю возможность задавать и редактировать на высоком уровне свойства системы нечеткого вывода, такие как число входных и выходных переменных, тип системы

нечеткого вывода, используемый метод дефаззификации и т. д. При этом по умолчанию также задается целый ряд параметров, таких как тип системы нечеткого вывода (Мамдани), нечеткие логические операции, методы импликации, агрегирования и дефаззификации и некоторые другие. Пользователь может согласиться с этими значениями или изменить их.

6.2 Разработка и исследование САР с псевдолинейным нечетким регулятором в среде MatLab

Смоделирована САР с ПИД – регулятором и псевдолинейным нечетким ПИД - регулятором, которая представлена на рис. 6.1.

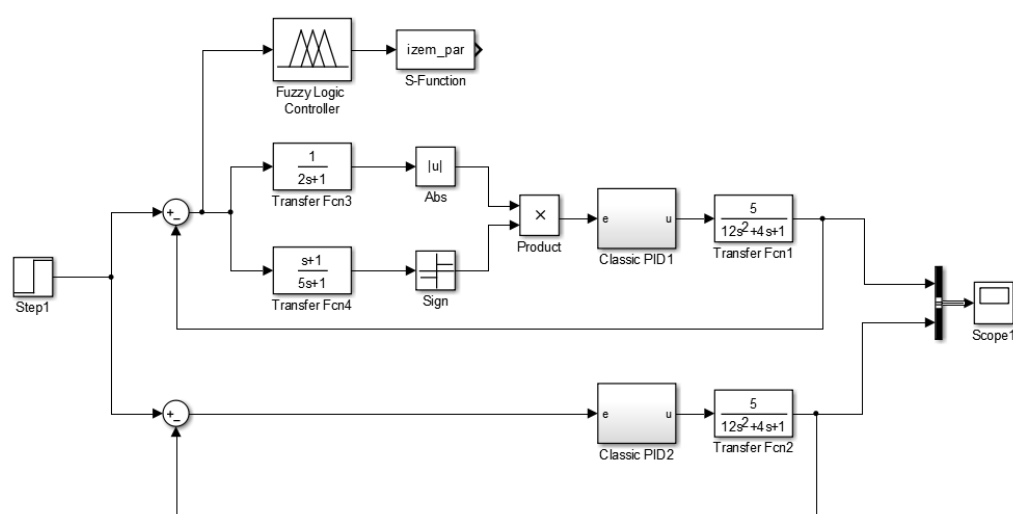


Рисунок 6.1 – Модель системы автоматического регулирования с ПИД и нечетким регулятором

На вход систем подается задающее воздействие в виде ступенчатого сигнала. Блок *PID Controller* содержит значения параметров ПИД - регулятора, полученных после настройки методом Циглера - Никольса.

На рис. 6.1, находится блок нечеткой логики *Fuzzy Logic with Ruleviewer*, который предназначен для редактирования системы нечеткого вывода ПКУ.

Псевдолинейный нечеткий регулятор включает в свой состав нечеткое ПКУ, последовательно, соединенное с классическим ПИД-регулятором. Подстройка параметров ПКУ осуществляется по изменению ошибки.

Общий вид главного окна редактирования системы нечеткого вывода приведен рис. 6.2:

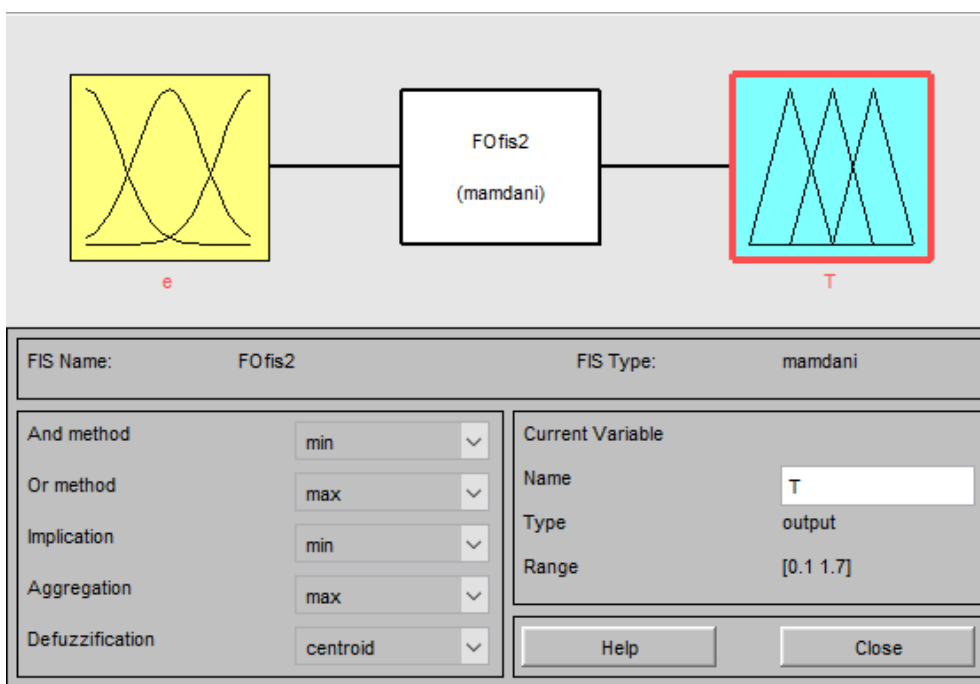


Рисунок – 6.2. Вид главного окна редактора FIS

База правил нечеткого вывода с названием “fuzzypid” имеет один вход – ошибка e и выход – параметр постоянной времени T . Блок “fuzzypid” содержит список нечетких правил, которые приведены на рис. 6.3:

1. If (e is OM) then (T is OM) (1)
2. If (e is M) then (T is M) (1)
3. If (e is N) then (T is N) (1)
4. If (e is S) then (T is S) (1)
5. If (e is BS) then (T is BS) (1)
6. If (e is B) then (T is B) (1)
7. If (e is OB) then (T is OB) (1)

Рисунок 6.3 – База правил нечеткого вывода

Поскольку процесс нечеткого моделирования позволяет провести анализ результатов нечеткого вывода при различных значениях входных переменных с целью установления адекватности разработанной нечеткой модели. Вид окна наблюдения нечеткого вывода приведен на рис. 6.4:

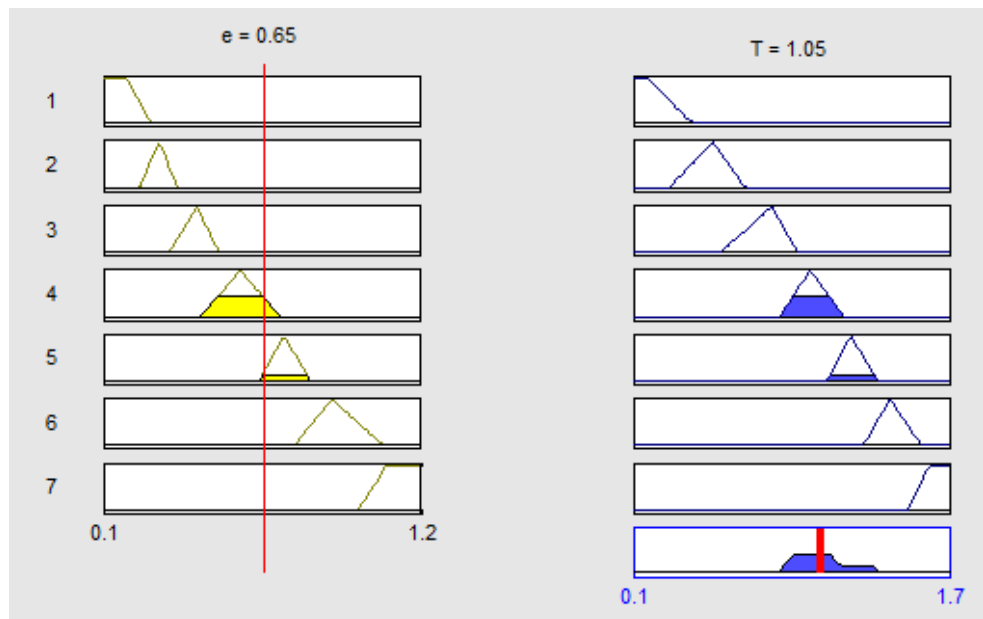


Рисунок 6.4 – Вид окна наблюдения нечеткого вывода выходных переменных при значении входной переменной

6.3 Разработка САР с нечетким регулятором для объектов без запаздывания

Далее на рис. 6.5 приведена схема САР с псевдолинейным нечетким и ПИД - регулятором для объекта управления с передаточной функцией

$$\text{вида: } W(s) = \frac{1}{15s + 1}$$

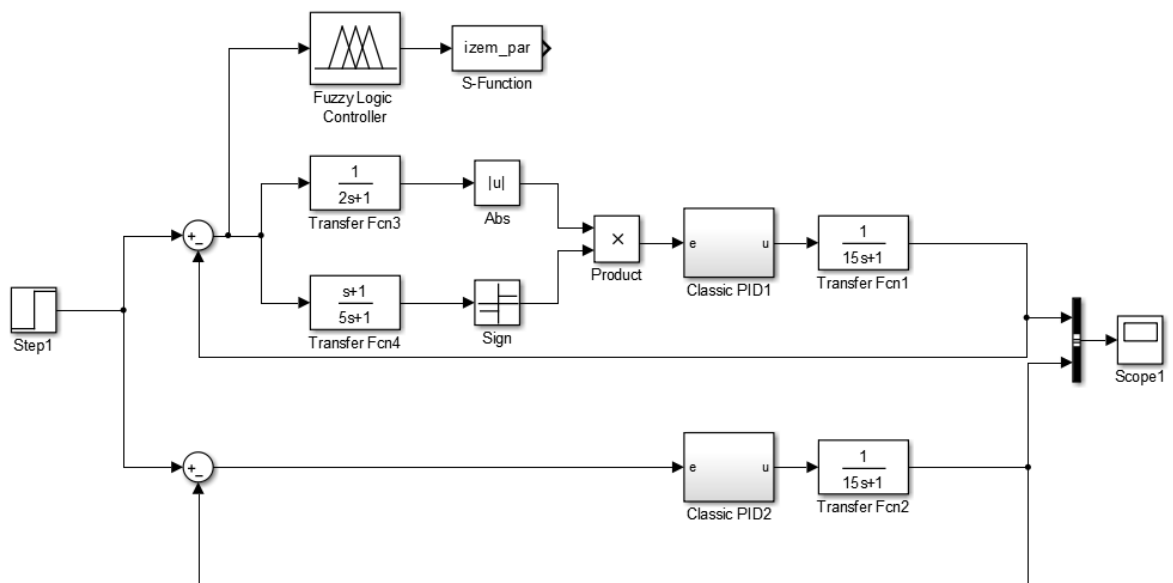


Рисунок 6.5 – Модель одноконтурной системы автоматического регулирования с ПИД и нечетким регулятором при изменении значения параметра объекта управления

На рисунках 6.5 и 6.6 приведены графики переходных процессов для объекта управления с исходным и изменившимся значением постоянной времени. При этом значения параметров регуляторов обеих систем являются неизменными. На рисунках кривая 1 соответствует системам с псевдолинейным нечетким ПИД – регулятором, а кривая 2 соответствует системам с ПИД – регулятором. Из рисунков видно, что качество регулирования системы с псевдолинейным нечетким ПИД – регулятором значительно лучше, чем системы с ПИД – регулятором при изменившихся параметрах объекта управления.

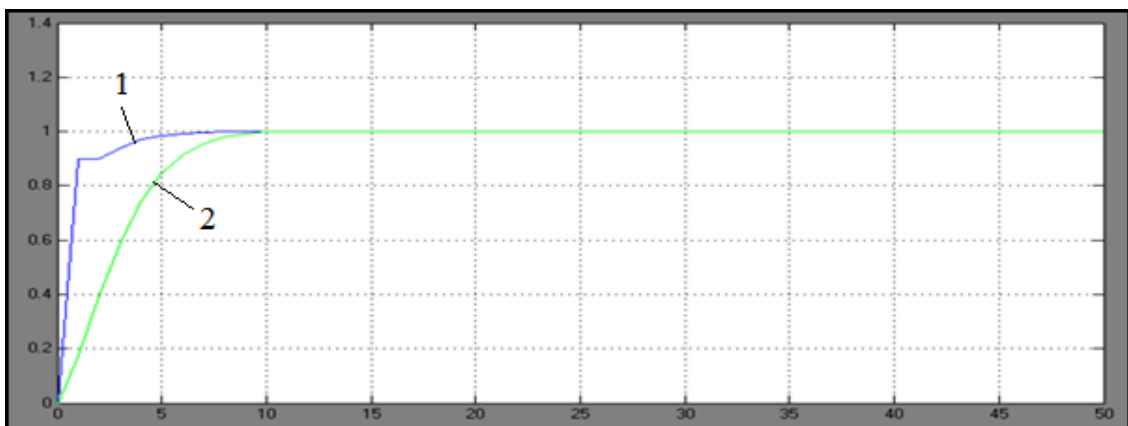


Рисунок 6.5 – Переходные характеристики, полученные при начальном значении объекта первого порядка $T_1 = 1$ с: 1 – псевдолинейным нечетким ПИД – регулятором и 2 – ПИД – регулятором

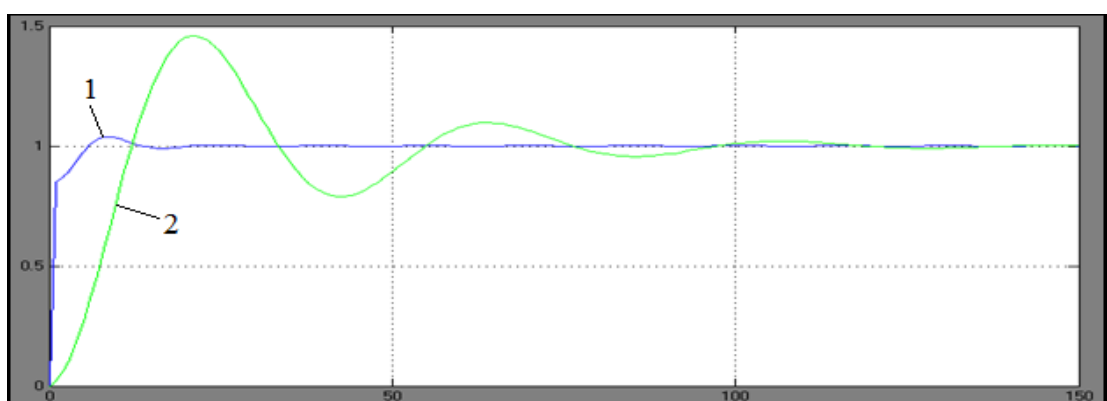


Рисунок 6.6 – Переходные характеристики, полученные при начальном значении объекта первого порядка $T_1 = 15$ с: 1 –

псевдолинейным нечетким ПИД – регулятором и 2 – ПИД – регулятором

Далее смоделирована одноконтурная САУ с ПИД - регулятором и псевдолинейным нечетким ПИД – регулятором, которая представлена на рис. 6.7 и 6.8 для второго порядка..

Передаточная функция объекта управления имеет вид:

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

При настройке были получены следующие значения коэффициентов ПИД - регулятора: $K_P=0,2771$, $K_I=0,2984$ и $K_D=0,0112$.

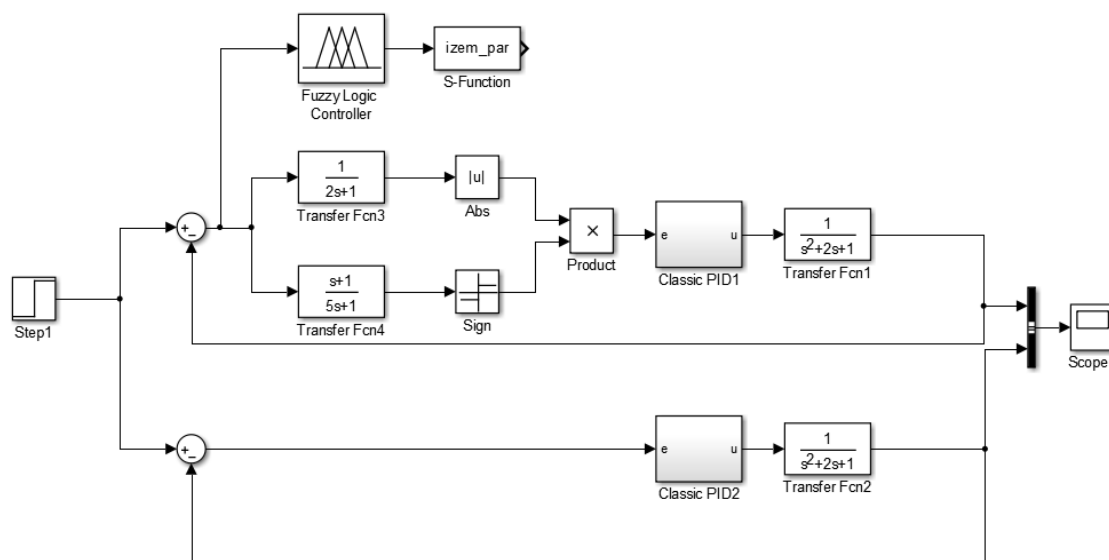


Рисунок 6.7 – Структурная схема системы регулирования с псевдолинейным нечетким ПИД – регулятором и ПИД - регулятором для объекта второго порядка без запаздывания при $T_I = 1$ с

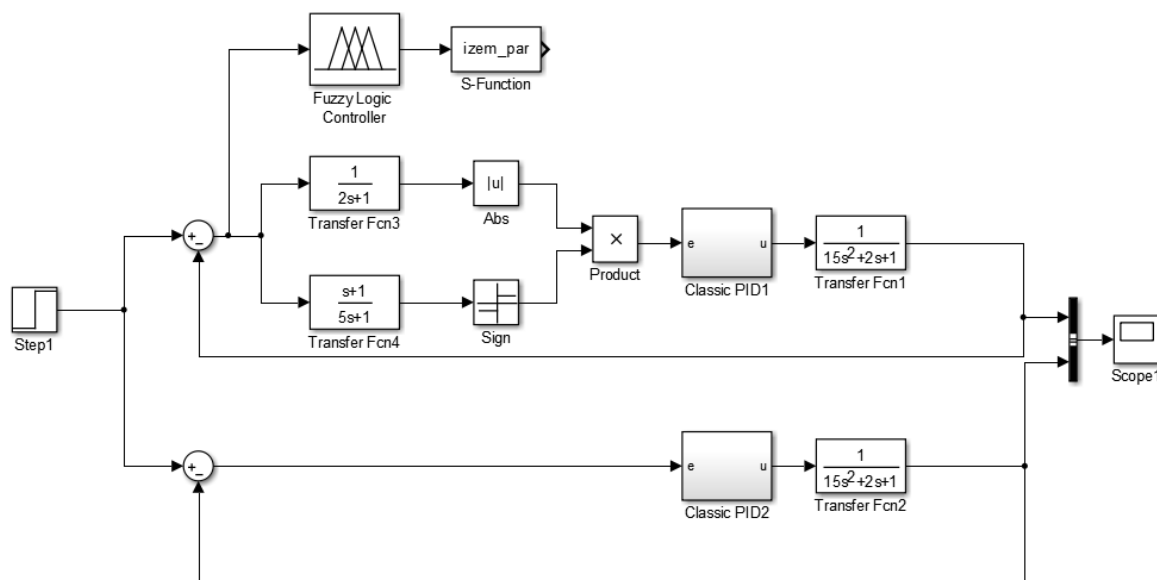


Рисунок 6.8 – Структурная схема системы регулирования с псевдолинейным нечетким ПИД – регулятором и ПИД - регулятором для объекта второго порядка без запаздывания при $T_I = 15c$

На рисунках 6.9 и 6.10 приведены графики переходных процессов для объекта управления с исходным и изменившимся значением постоянной времени. При этом значения параметров регуляторов обеих систем являются неизменными. На рисунках кривая 1 соответствует системам с псевдолинейным нечетким ПИД – регулятором, а кривая 2 соответствует системам с ПИД - регулятором. Из рисунков видно, что качество регулирования системы с псевдолинейным нечетким ПИД – регулятором регулятором значительно лучше, чем системы с ПИД – регулятором при изменившихся параметрах объекта управления.

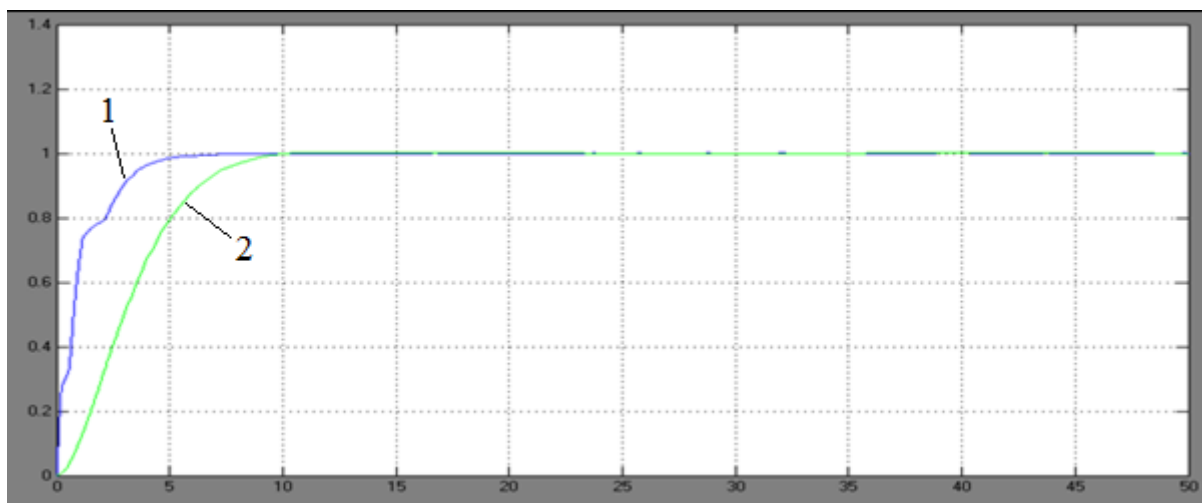


Рисунок 6.9 – Переходные характеристики, полученные при начальном значении объекта второго порядка $T_1 = 1\text{с}$: 1 – псевдолинейным нечетким ПИД – регулятором и 2 – ПИД – регулятором

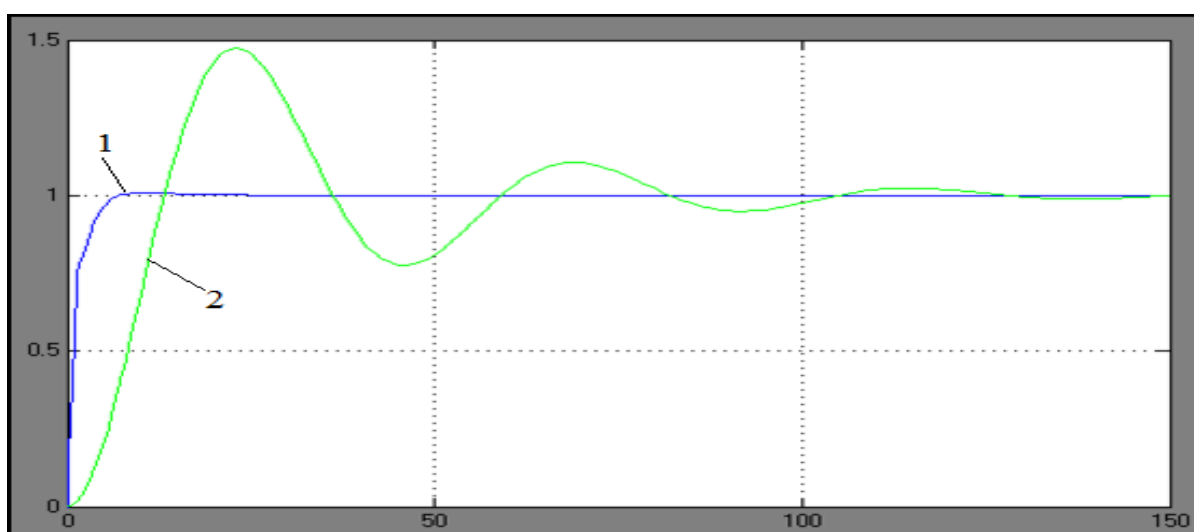


Рисунок 6.10 – Переходные характеристики, полученные при изменившемся значении объекта второго порядка $T_1 = 15\text{с}$: 1 – псевдолинейным нечетким ПИД – регулятором и 2 – ПИД – регулятором

Далее смоделирована одноконтурная САР с ПИД - регулятором и псевдолинейным нечетким ПИД – регулятором, которая представлена на рис. 6.11 и 6.12 для третьего порядка.

Передаточная функция объекта управления имеет вид:

$$W = \frac{1}{s^3 + s^2 + s + 1}$$

При настройке были получены следующие значения коэффициентов ПИД - регулятора: $K_P=0.0975$; $K_I=0.1277$; $K_D = 0.1003$.

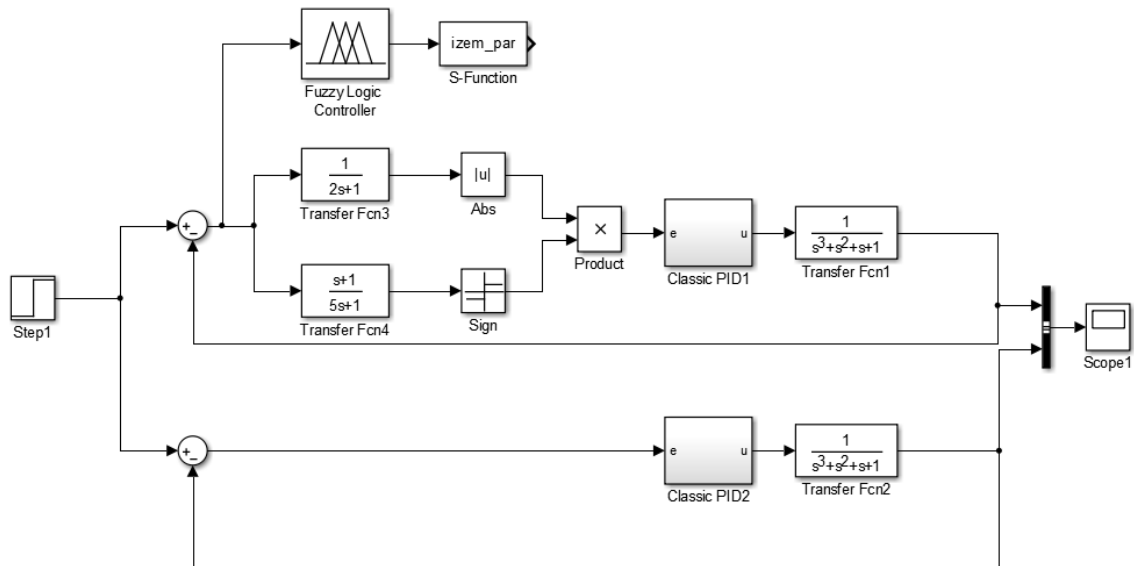


Рисунок 6.11 – Структурная схема системы регулирования псевдолинейным нечетким ПИД – регулятором и ПИД - регулятором для объекта третьего порядка без запаздывания при $T_n = 1\text{c}$

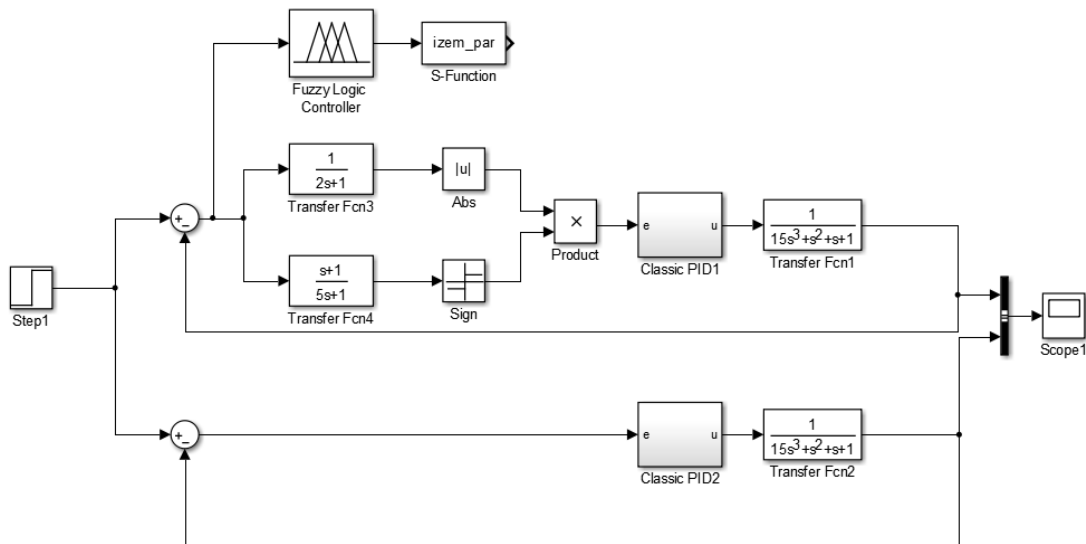


Рисунок 6.12– Структурная схема системы регулирования псевдолинейным нечетким ПИД – регулятором и ПИД - регулятором для объекта третьего порядка без запаздывания при $T_n = 15\text{c}$

На рисунках 6.13 и 6.14 приведены графики переходных процессов для объекта управления с исходным и изменившимся значением постоянной времени. При этом значения параметров регуляторов обеих систем являются неизменными. На рисунках кривая 1 соответствует системам с псевдолинейным нечетким ПИД – регулятором, а кривая 2 соответствует системам с ПИД – регулятором. Из рисунков видно, что качество регулирования системы с псевдолинейным нечетким ПИД – регулятором значительно лучше, чем системы с ПИД – регулятором при изменившихся параметрах объекта управления.

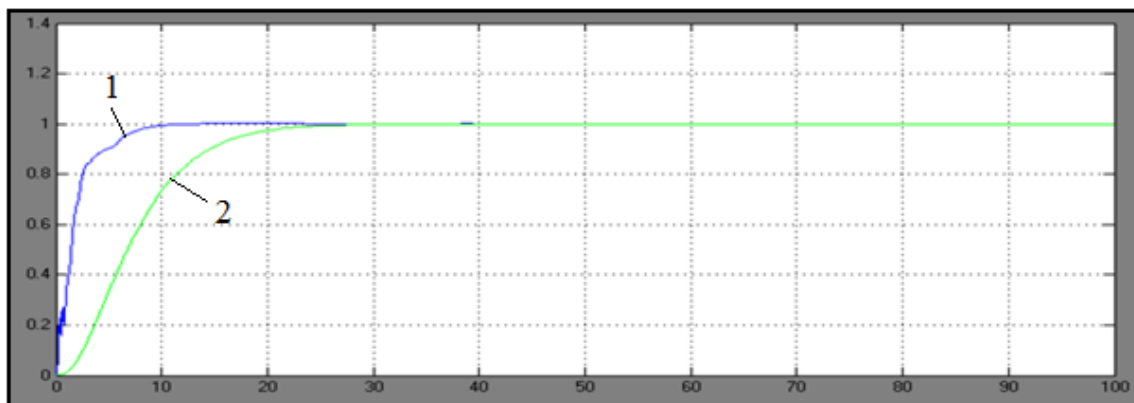


Рисунок 6.13 – Переходные характеристики, полученные при начальном значении объекта третьего порядка $T_1 = 1$ с: 1 – псевдолинейным нечетким ПИД – регулятором и 2 – ПИД - регулятором

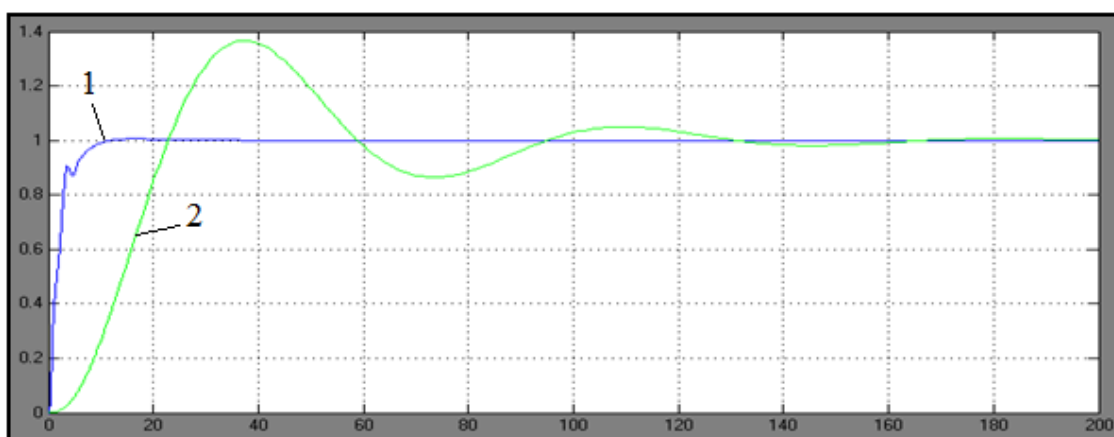


Рисунок 6.14 – Переходные характеристики, полученные при начальном значении объекта третьего порядка $T_1 = 15$ с: 1 –

псевдолинейным нечетким ПИД – регулятором и 2 – ПИД - регулятором

6.4 Разработка САР с нечетким регулятором для объекта с запаздыванием

Далее смоделирована одноконтурная САР с ПИД - регулятором и псевдолинейным нечетким ПИД для объекта с чистым запаздыванием, которая представлена на рис. 6.15.

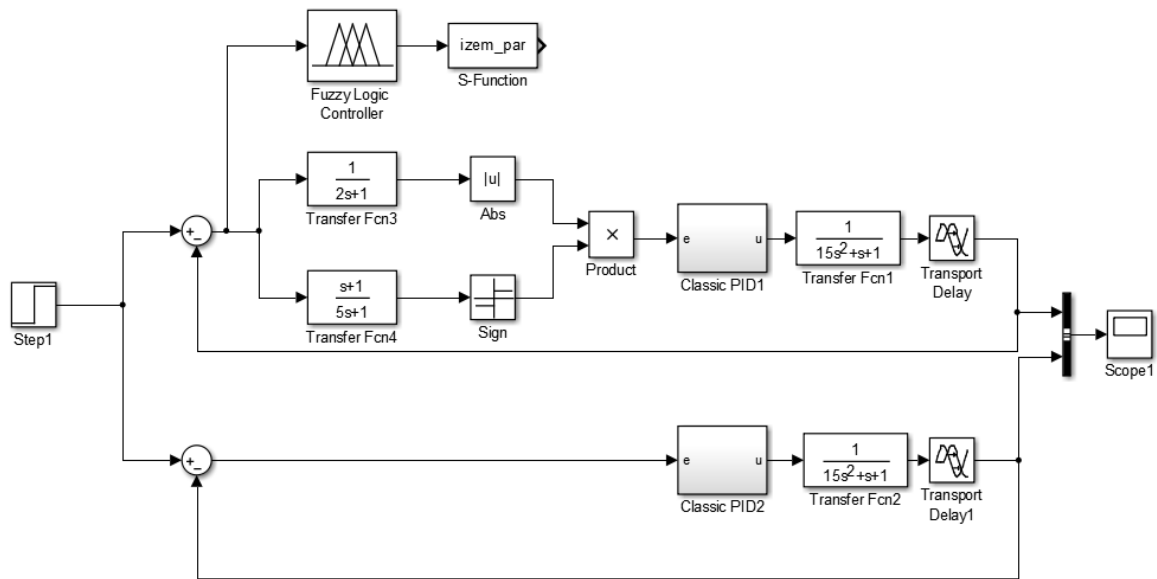


Рисунок 6.15 – Структурная схема системы регулирования с псевдолинейным нечетким ПИД – регулятором и ПИД - регулятором для объекта второго порядка с запаздыванием

Передаточная функция объекта управления имеет вид: $W = \frac{1}{15s^2 + s + 1}$

При настройке были получены следующие значения коэффициентов ПИД - регулятора: $K_P=3,473$, $K_I=0,1811$ и $K_D=4,7848$.

На рисунках 6.16 и 6.17 приведены графики переходных процессов для объекта управления с исходным и изменившимся значением постоянной времени. При этом значения параметров регуляторов обеих систем являются неизменными. На рисунках кривая 1 соответствует системам с псевдолинейным нечетким ПИД – регулятором, а кривая 2 соответствует

системам с ПИД - регулятором. Из рисунков видно, что качество регулирования системы с псевдолинейным нечетким ПИД – регулятором значительно лучше, чем системы с ПИД – регулятором при изменившихся параметрах объекта управления.

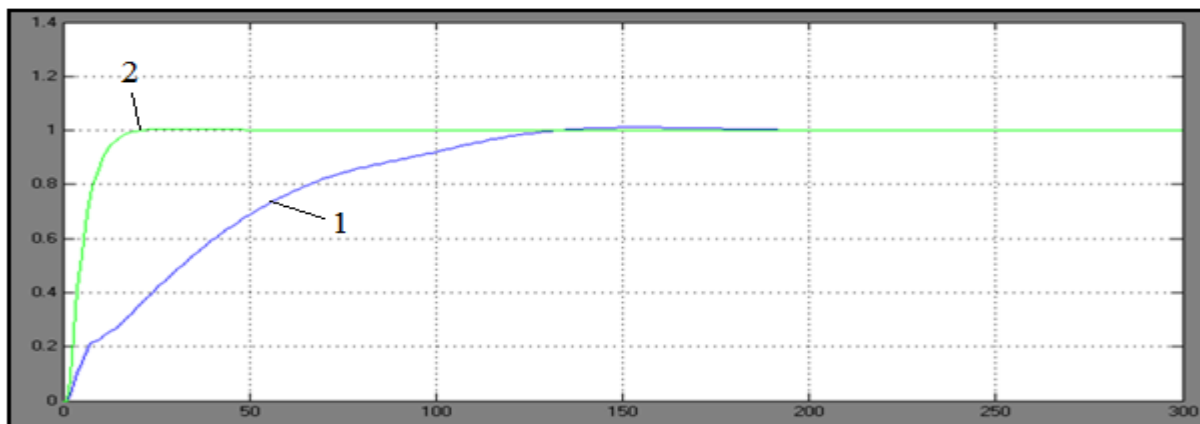


Рисунок 6.16 – Переходные характеристики, полученные для объекта второго порядка с чистым запаздыванием $\tau_{зан} = 1с$: 1 – с псевдолинейным нечетким ПИД – регулятором и 2 – с ПИД - регулятором

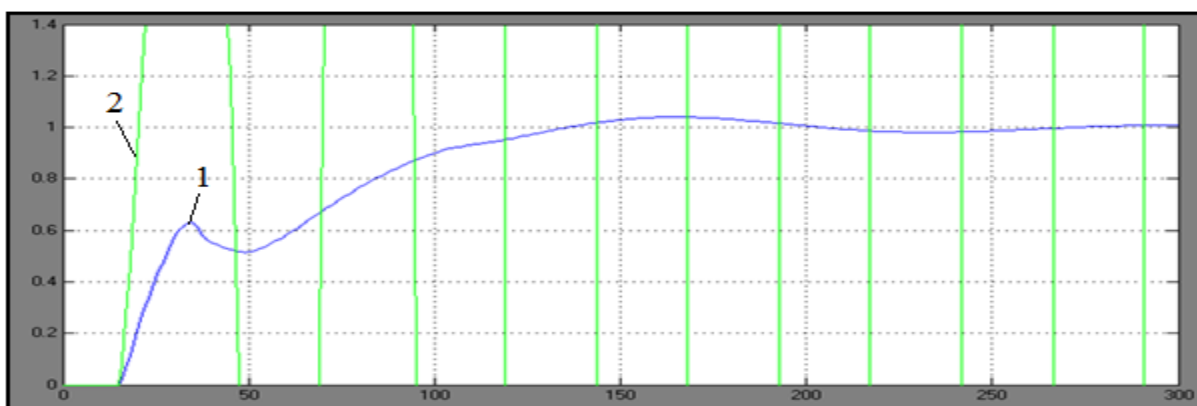


Рисунок 6.17 – Переходные характеристики, полученные для объекта второго порядка с чистым запаздыванием: $\tau_{зан} = 15с$: 1 – с псевдолинейным нечетким ПИД – регулятором и 2 – с ПИД - регулятором

Результаты исследования показали, что применение данного псевдолинейного нечеткого ПИД – регулятора позволяет улучшить качество системы управления при изменении параметров объекта управления в определенных пределах.

7 СТРУКТУРА ЛАБОРАТОРНОГО КОМПЛЕКСА

7.1 Назначение, состав и технические характеристики контроллера SIMATIC S7-400

Внешний вид одной стойки контроллера SIMATIC S7-400 определенной конфигурации показан на рис. 7.1.

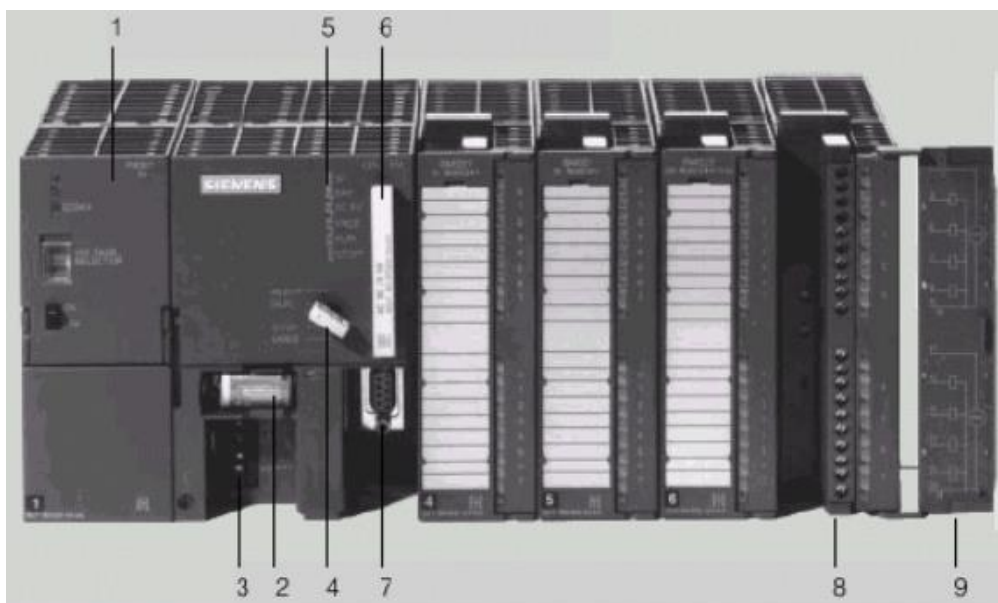


Рисунок 7.1 – Внешний вид стойки контроллера S7-400.

На рис. 7.1. приведены обозначения: 1 – блок питания, 2 – буферная батарея (для всех CPU кроме 312FM), 3 – клеммы для подключения питания 24В, 4 – ключ переключения режимов работы, 5 – светодиоды индикации состояния системы, 6 – submodule памяти (для всех CPU кроме 312FM), 7 – разъем многоточечного интерфейса MPI, 8 – фронтальный соединитель, 9 – защитная крышка.

Система S7-400 имеет несколько типов центральных процессоров: CPU 312FM, CPU 313, CPU 314FM, CPU 314, CPU 315, CPU 315-2DP, CPU 316, CU 318-2DP.

Таблица 7.1 – Характеристика процессоров

PU	3 12FM	3 13	3 14FM	3 14	3 15/315D P	3 16DP	3 18DP
	6 Кб	1 2 Кб	3 2 Кб	2 4 Кб	4 8/64 Кб	1 28 Кб	5 12 Кб
.1	20 Кб	2 0 Кб	4 8 Кб	4 0 Кб	8 0 Кб/96 Кб	1 92 Кб	64 Кб - до 4 Мб
.2	-	- д о 4 Мб	4 8 Кб д о 4 Мб	- д о 4 Мб	- д о 4 Мб	- д о 4 Мб	
.3			о 4 Мб		о 4 Мб		
	0 .6 -1.2	0 .6	0 .3 - 0.6	0 .3 - 0.6	0 .3 - 0.6	0 .3 - 0.6	0 .1
	2	2	1	1	1	1	0 .1
	2 56	2 56	9 92	1 024	1 024 / 8192	1 6384	6 5536
	64/32	6 4/32	2 48/124	2 56/128	2 56/512	1 024	4 096
	3 1	3 1	3 1	3 1	3 1	3 1	3 1
	1	1	1 +3	1 +3	1 +3	1 +3	1 +3
	8	8	д о 32	д о 32	д о 32	д о 32	д о 32
0	0 /1	0 /1	0 /1	0 /1	0 /1 1/1	1 /1	2 /2

1	0/8	0/8	0 /16	0 /16	0 /32 64/64	1 24/64	1 25/64
---	-----	-----	----------	----------	-------------------	------------	------------

На таблице 7.1. приведены обозначения: 1 – объем встроенного ОЗУ, 2 – объем загружаемой встроенной RAM, 3 – объем загружаемой расширенной EEPROM, 4 – карта Flash-EEPROM, 5 – время выполнения логической операции – мкс, 6 – время выполнения операции с плавающей запятой – мкс, 7 – количество дискретных в/в, 8 – количество аналоговых в/в, 9 - количество станций MPI интерфейса, 10 – количество стоек в централизованной системе, 11 – количество модулей в системе, 12 – количество DP-линий на CPU (встроенных/CP), 13 - количество DP-станций на линию (встроенных/CP).

8 СОЦИАЛЬНАЯ ОТВЕТСТВЕННОСТЬ

Целью выпускной квалификационной работы является разработка, исследование и программная реализация на контроллере «Siemens Simatic S7-400» псевдолинейного нечеткого ПИД-регулятора.

Разработка, исследование и реализация корректирующего устройства выполняются с использованием персонального компьютера и промышленного микроконтроллера «Siemens Simatic S7-400», в замкнутом помещении в условиях искусственного освещения. Таким образом, меры по минимизации последствий проектируемой деятельности должны включать в себя составление режима работ на персональном компьютере, организацию перерывов и проветриваний. Кроме того, существует необходимость мер по обеспечению электробезопасности, а также защиты от ЧС.

8.1. Анализ опасных и вредных факторов

Метеоусловия

Проанализируем микроклимат в помещении, где находится рабочее место. Воздух рабочей зоны (микроклимат) производственных помещений определяют следующие параметры: температура, относительная влажность, скорость движения воздуха. Эти параметры по отдельности и в комплексе влияют на организм человека, определяя его самочувствие. Оптимальные и допустимые значения характеристик микроклимата устанавливаются в соответствии с ГОСТ 12.1.005–88 и СанПиН 2.2.4.584–96 «Гигиенические требования к микроклимату производственных помещений» и приведены в таблице 8.1

Таблица 8.1 – Оптимальные и допустимые значения характеристик микроклимата

Период года	Температура, С	Относительная влажность, %	Скорость движения воздуха, м/с
Холодный и переходный	23-25	40-60	0,1
Тёплый	23-25	40	0,1

По степени физической тяжести работа инженера-программиста относится к категории лёгких работ. Параметры микроклимата в помещении, где находится рабочее место, регулируются системой центрального отопления и приточно-вытяжной вентиляцией, и имеют следующие значения: влажность 40%, скорость движения воздуха 0,1 м/с, температура летом 20...25° С, зимой 15...18°С.

К мероприятиям по оздоровлению воздушной среды в производственном помещении относятся: правильная организация вентиляции и кондиционирования воздуха, отопление помещений. Вентиляция может осуществляться естественным и механическим путём. В помещении ВЦ должны подаваться следующие объёмы наружного воздуха: при объёме помещения до 20 м³ на человека – не менее 30 м³ в час на человека; при объёме помещения более 40 м³ на человека и отсутствии выделения вредных веществ допускается естественная вентиляция.

В аудитории отсутствует принудительная вентиляция. Имеется лишь естественная, т.е. воздух поступает и удаляется через щели, окна, двери. Основной недостаток такой вентиляции в том, что приточный воздух поступает в помещение без предварительной очистки и нагревания. Естественная вентиляция допускается при условии, что на одного работающего приходится более 40 м³ объема воздуха в помещении. Поскольку в помещении не выполняется требование к объему воздуха на одного работающего, то наличие принудительной вентиляции просто необходимо.

В зимнее время в помещении необходимо предусмотреть систему отопления. Она должна обеспечивать достаточное, постоянное и равномерное нагревание воздуха. В помещениях с повышенными требованиями к чистоте воздуха должно использоваться водяное отопление. В рассматриваемой аудитории используется водяное отопление со встроенными нагревательными элементами и стояками.

Опасность электропоражения

Электрические установки представляют для человека большую потенциальную опасность, которая усугубляется тем, что органы чувств человека не могут на расстоянии обнаружить наличие электрического напряжения на оборудовании.

В зависимости от условий в помещении опасность поражения человека электрическим током увеличивается или уменьшается. Не следует работать с компьютером и контроллером «Siemens Simatic S7-400» в условиях повышенной влажности (относительная влажность воздуха длительно превышает 75%), высокой температуры (более 35°C), наличии токопроводящей пыли, токопроводящих полов и возможности одновременного соприкосновения к имеющим соединение с землёй металлическим элементам и металлическим корпусом электрооборудования. Таким образом, работа с компьютером и контроллером «Siemens Simatic S7-400» может проводиться только в помещениях без повышенной опасности, и возможность поражения током может быть только при прикосновении непосредственно с элементами этих конструкций.

Студент-дипломник работает с электроприборами: компьютером (дисплей, системный блок, манипулятор «мышь» и клавиатура), контроллером «Siemens Simatic S7-400» и принтером. В данном случае существует опасность электропоражения:

- при непосредственном прикосновении к токоведущим частям во время ремонта ПЭВМ или контроллера «Siemens Simatic S7-400»;

- при прикосновении к нетоковедущим частям, оказавшимся под напряжением (в случае нарушения изоляции токоведущих частей ПЭВМ или контроллера «Siemens Simatic S7-400»);
- при соприкосновении с полом, стенами, оказавшимися под напряжением;
- имеется опасность короткого замыкания в высоковольтных блоках: блоке питания и блоке дисплейной развёртки.

Все помещения, в зависимости от условий, делятся на помещения:

- особо опасные;
- с повышенной опасностью поражения электрическим током;
- без повышенной опасности поражения электрическим током.

Согласно такой классификации помещений, аудитория 113а–10 по опасности электропоражения относится к помещениям без повышенной опасности, то есть отсутствуют условия, создающие повышенную опасность.

В лаборатории используются приборы, потребляющие напряжение 220В переменного тока с частотой 50Гц. Это напряжение опасно для жизни, поэтому обязательны следующие меры предосторожности:

- перед началом работы нужно убедиться, что выключатели и розетка закреплены и не имеют оголённых токоведущих частей;
- при обнаружении неисправности оборудования и приборов необходимо не делая никаких самостоятельных исправлений сообщить ответственному за оборудование;
- запрещается загромождать рабочее место лишними предметами.
- при возникновении несчастного случая следует немедленно освободить пострадавшего от действия электрического тока и, вызвав врача, оказать ему необходимую помощь.

Электромагнитное излучение от компьютера

Как любые электрические приборы, видеодисплеи (ВД) и системные блоки производят электромагнитное излучение. Большая часть его

происходит не от экрана монитора, а от видеокабеля и системного блока. В портативных компьютерах практически все электромагнитное излучение идет от системного блока, располагающегося под клавиатурой. Современные машины выпускаются заводом-изготовителем со специальной металлической защитой внутри системного блока для уменьшения фона электромагнитного излучения.

Безопасные уровни излучений регламентируются нормами Госкомсанэпиднадзора «Гигиенические требования к персональным электронно-вычислительным машинам и организации работы» (СанПиН 2.2.2/2.4.1340–03). Напряженность электромагнитного поля на расстоянии 50 см вокруг ВД по электрической составляющей должна быть не более:

В диапазоне частот 5 Гц ÷ 2 кГц – 25 В/м;

В диапазоне частот 2 кГц ÷ 400кГц – 2,5 В/м.

Плотность магнитного потока должна быть не более:

В диапазоне частот 5 Гц ÷ 2 кГц – 250 нТл;

В диапазоне частот 2 кГц ÷ 400кГц – 25 нТл.

Возможные способы защиты от ЭМП:

Основной способ – увеличение расстояния от источника: для избегания последствий экран видеомонитора должен находиться на расстоянии не менее 50 см от пользователя;

Применение приэкранных фильтров, специальных экранов и других средств индивидуальной защиты, прошедших испытание в аккредитованных лабораториях и имеющих соответствующий гигиенический сертификат.

8.2 Пожарная безопасность

Пожарная профилактика

Мероприятия по пожарной профилактике разделяются на организационные, технические, эксплуатационные и режимные.

Организационные мероприятия предусматривают правильную эксплуатацию оборудования, правильное содержание зданий и территорий,

противопожарный инструктаж рабочих и служащих, обучение производственного персонала правилам противопожарной безопасности, издание инструкций, плакатов, наличие плана эвакуации.

К техническим мероприятиям относятся: соблюдение противопожарных правил, норм при проектировании зданий, при устройстве электропроводов и оборудования, отопления, вентиляции, освещения, правильное размещение оборудования, наличие углекислотного огнетушители типа ОУ–2 или порошкового типа ОП–5.

К режимным относятся установление правил организации работ и соблюдение противопожарных мер.

Мероприятия по устранению и предупреждению пожаров

Для предупреждения возникновения пожара необходимо соблюдать следующие правила пожарной безопасности:

- исключение образования горючей среды (герметизация оборудования, контроль воздушной среды, рабочая и аварийная вентиляция);
- применение при строительстве и отделке зданий негорючих или трудно сгораемых материалов.
- Необходимо в аудитории проводить следующие пожарно-профилактические мероприятия:
- организационные мероприятия, касающиеся технического процесса с учетом пожарной безопасности объекта;
- эксплуатационные мероприятия, рассматривающие эксплуатацию имеющегося оборудования;
- технические и конструктивные, связанные с правильным размещением и монтажом электрооборудования и отопительных приборов.

Организационные мероприятия:

- противопожарный инструктаж обслуживающего персонала;
- обучение персонала правилам техники безопасности;

- издание инструкций, плакатов, планов эвакуации.

Эксплуатационные мероприятия:

- соблюдение эксплуатационных норм оборудования;
- обеспечение свободного подхода к оборудованию;
- содержание в исправности изоляции токоведущих проводников.

Технические мероприятия:

- соблюдение противопожарных мероприятий при устройстве электропроводок, оборудования, систем отопления, вентиляции и освещения. В аудитории 113а 10 корпуса имеется порошковый огнетушитель типа ОП–5, установлен рубильник, обесточивающий всю аудиторию, на двери аудитории приведен план эвакуации в случае пожара, и на досягаемом расстоянии находится пожарный щит (1 этаж 10 корпус). Если возгорание произошло в электроустановке, для его устранения должны использоваться углекислотные огнетушители типа ОУ–2 или порошковые типа ОП–5.
- профилактический осмотр, ремонт и испытание оборудования.

Кроме устранения самого очага пожара, нужно своевременно организовать эвакуацию людей.



Рисунок 8.2 – План эвакуации из аудитории 113а

8.3 Региональная безопасность. Охрана окружающей среды

История влияния человека на биосферу показывает, что технический прогресс постоянно увеличивает воздействия на окружающую среду, создает предпосылки для возникновения экологических кризисов. В то же время прогресс расширяет возможности устранения создаваемых человеком ухудшений природной среды.

Защита окружающей среды - это комплексная проблема, требующая усилий всего человечества. Наиболее активной формой защиты окружающей среды от вредного воздействия выбросов промышленных предприятий является полный переход к безотходным, малоотходным и энергосберегающим технологиям и производствам. Это потребует решения целого комплекса сложных технологических, конструкторских и организационных задач, основанных на использовании новейших научно-технических достижений, в частности внедрение в процесс проектирования новой радиоэлектронной аппаратура и средств ВТ. Целью дипломной работы была разработка программного обеспечения псевдолинейного корректирующего устройства, внедрение которого позволит значительно снизить простои АСУ ТП из-за перенастройки оборудования при выходе параметров ТП за пределы выбранных настроек оборудования.

Если используемое оборудование по каким-либо причинам выйдет из строя и не будет поддаваться ремонту, то его необходимо будет утилизировать. Пластмассовые, железные детали, можно пустить на переработку. Переработке так же поддается и использованная и ненужная бумага, ее можно сдать в прием макулатуры.

9 ФИНАНСОВЫЙ МЕНЕДЖМЕНТ, РЕСУРСОЭФФЕКТИВНОСТЬ И РЕСУРСОСБЕРЕЖЕНИЕ

9.1 Организация и планирование работ

При организации процесса реализации конкретного проекта необходимо оптимально планировать занятость каждого из его участников и сроки проведения отдельных работ.

Таблица 9.1 – Перечень работ и продолжительность их выполнения

Этапы работы	Исполнители	Загрузка исполнителей
Постановка задания	НР	НР – 100%
Составление и утверждение ТЗ	НР, И	НР – 50% И – 100%
Разработка календарного плана	НР, И	НР – 100% И – 100%
Изучение литературных источников, написание теоретической части работы и математических выкладок	И	И – 100%
Создание адаптивной САР с ПКУ	И	И – 100%
Создание программного обеспечения для контроллера Simatic SIEMENS S7-400	И	И – 100%
Проведение испытаний и их результаты, доработка программного обеспечения	НР, И	НР – 20% И – 100%
Обоснование безопасности и экономичности производства	И	И – 100%
Оформление расчетно-пояснительной записки	И	И – 100%
Оформление графического материала	И	И – 100%
Подведение итогов	НР, И	НР – 100% И – 100%

Продолжительность этапов работ

Для определения ожидаемого значения продолжительности работ $t_{ож}$ применяется вероятностный метод – метод двух оценок t_{min} и t_{max} .

$$t_{ож} = \frac{3 \cdot t_{min} + 2 \cdot t_{max}}{5}, \quad (9.1)$$

где t_{min} – минимальная трудоемкость работ, чел/дн.;

t_{max} – максимальная трудоемкость работ, чел/дн.

Для выполнения перечисленных в таблице 9.1 работ требуются специалисты:

- инженер;
- научный руководитель.

Для построения линейного графика необходимо рассчитать длительность этапов в рабочих днях, а затем перевести в календарные дни. Расчет продолжительности выполнения каждого этапа в рабочих днях ведется по формуле:

$$T_{РД} = \frac{t_{ож}}{K_{ВН}} \cdot K_{Д}, \quad (9.2)$$

где $t_{ож}$ – трудоемкость работы, чел/дн.;

$K_{ВН}$ – коэффициент выполнения работ ($K_{ВН} = 1$);

$K_{Д}$ – коэффициент, учитывающий дополнительное время на компенсации и согласование работ ($K_{Д} = 1.2$).

Расчет продолжительности этапа в календарных днях ведется по формуле:

$$T_{КД} = T_{РД} \cdot T_{К}, \quad (9.3)$$

где $T_{РД}$ – продолжительность выполнения этапа в рабочих днях;

$T_{КД}$ – продолжительность выполнения этапа в календарных днях;

$T_{К}$ – коэффициент календарности.

Коэффициент календарности рассчитывается по формуле:

$$T_K = \frac{T_{КАЛ}}{T_{КАЛ} - T_{ВД} - T_{ПД}}, \quad (9.4)$$

где $T_{КАЛ}$ – календарные дни ($T_{КАЛ} = 365$);

$T_{ВД}$ – выходные дни ($T_{ВД} = 52$);

$T_{ПД}$ – праздничные дни ($T_{ПД} = 10$).

$$T_K = \frac{365}{365 - 52 - 10} = 1,205$$

В таблице 9.2 приведены длительность этапов работ и число исполнителей, занятых на каждом этапе

Расчет накопления готовности работ

Величина накопления готовности работы показывает, на сколько процентов выполнена работа на каждом этапе. Данная величина вычисляется по формуле:

$$СГ_i = \frac{ТР_i^H}{ТР_{общ.}} = \frac{\sum_{k=1}^i ТР_k}{ТР_{общ.}} = \frac{\sum_{k=1}^i \sum_{j=1}^m ТР_{km}}{\sum_{k=1}^I \sum_{j=1}^m ТР_{km}}, \quad (9.5)$$

где ТР_{общ.} – общая трудоемкость проекта;

ТР_i (ТР_k) – трудоемкость i-го (k-го) этапа проекта, $i = \overline{1, I}$;

ТР_{iH} – накопленная трудоемкость i-го этапа проекта по его завершении;

ТР_{ij} (ТР_{kj}) – трудоемкость работ, выполняемых j-м участником на i-м этапе, здесь $j = \overline{1, m}$ – индекс исполнителя, $m = 2$.

Результаты вычислений отражены в таблице 9.3.

Таблица 9.3 – Нарастание технической готовности работы и удельный вес каждого этапа

Этап	ТР _i , %	СГ _i , %
Постановка задачи	2,03	2,03
Разработка и утверждение технического задания (ТЗ)	10,47	12,5
Разработка календарного плана	4,07	16,57
Изучение литературных источников, написание теоретической части работы и математических выкладок	11,93	28,5
Создание адаптивной САР с ПКУ	16,87	45,37
Создание программного обеспечения для контроллера Simatic SIEMENS S7-400	23,87	69,21
Проведение испытаний и их результаты, доработка программного обеспечения	10,13	79,34
Обоснование безопасности и экономичности производства	5,53	84,87
Оформление расчетно-пояснительной записки	5,53	90,4
Оформление графического материала	5,53	95,93
Подведение итогов	4,07	100

9.2 Расчет сметы затрат на создание макета КУ

В состав затрат на создание проекта включается стоимость всех расходов, необходимых для реализации комплекса работ, составляющих содержание данной разработки. Расчет сметной стоимости на выполнение данной разработки производится по следующим статьям затрат:

- материалы и покупные изделия;
- основная заработная плата;
- отчисления в социальные фонды;
- расходы на электроэнергию;
- амортизационные отчисления;
- работы, выполняемые сторонними организациями;
- прочие расходы.

Расчет затрат на материалы

К данной статье расходов относится стоимость материалов, покупных изделий, полуфабрикатов и других материальных ценностей, расходуемых непосредственно в процессе выполнения работ. Цена материальных ресурсов определяется по соответствующим ценникам и приведена в таблице 9.4.

Таблица 9.4 – Расходные материалы

Наименование материалов	Цена за ед., руб.	Количество	Сумма, руб.
Блокнот	40	1 шт.	40
Бумага для принтера формата А4	150	1 уп.	150
Ручка шариковая	10	2 шт.	20
Карандаш	10	1 шт.	10
Итого:			220

Пусть ТЗР составляет 5% от отпускной цены материалов, тогда расходы на материалы с учетом ТЗР равны

$$C_{\text{mat}} = 220 \cdot 1,05 = 231 \text{ рубль.}$$

Расчет основной заработной платы

Данная статья расходов включает заработную плату научного руководителя и инженера, а также премии, входящие в фонд заработной платы. Расчет основной заработной платы выполняется на основе трудоемкости выполнения каждого этапа и величины месячного оклада исполнителя.

Среднедневная тарифная заработная плата ($ЗП_{дн-г}$) рассчитывается по формуле:

$$ЗП_{дн-г} = MO/24,83 \quad (9.6)$$

Расчеты затрат на основную заработную плату приведены в таблице 8.5. При расчете учитывалось, что в году 298 рабочих дня и, следовательно, в месяце 24,83 рабочих дня. Затраты времени на выполнение работы по каждому исполнителю брались из таблицы 8. Также был принят во внимание коэффициент, учитывающий коэффициент дополнительной заработной платы $K_{ДЗ} = 1,1$; $K_{доп.ЗП} = 1,188$; $K_p = 1,3$. Таким образом, для перехода от тарифной (базовой) суммы заработка исполнителя, связанной с участием в проекте, к соответствующему полному заработку (зарплатной части сметы) необходимо первую умножить на интегральный коэффициент $K_{и} = 1,1 * 1,188 * 1,3 = 1,699$.

Таблица 9.5 – Затраты на основную заработную плату

Исполнитель	Оклад, руб./мес.	Среднедневная ставка, руб./день	Затраты времени, дни	Коэффициент	Фонд з/платы, руб.
НР	23 264,86	936,97	9	1,699	14327,21
И	7 915	318,77	73	1,699	39536,09
Итого:					53863,3

Таким образом, затраты на основную заработную плату составили $C_{осн} = 53863,3$ руб.

Расчет прочих расходов

В статье «Прочие расходы» отражены расходы на разработку проекта, которые не учтены в предыдущих статьях. Их следует принять равными 10% от суммы всех предыдущих расходов

$$C_{\text{проч.}} = (C_{\text{мат}} + C_{\text{зн}} + C_{\text{соц}} + C_{\text{эл.об.}} + C_{\text{ам}}) \cdot 0,1 \quad (9.12)$$

Подставим значения и вычислим:

$$C_{\text{проч.}} = (231 + 53863,3 + 16158,99 + 161,39 + 517,33) \cdot 0,1 = 7093,2 \text{ руб.}$$

Расчет общей себестоимости разработки

Проведя расчет сметы затрат на разработку, можно определить общую стоимость разработки проекта.

Таблица 9.7 – Смета затрат на разработку проекта

Статья затрат	Условное обозначение	Сумма, руб.
1 Материалы и покупные изделия	$C_{\text{мат}}$	231
2 Основная заработная плата	$C_{\text{очн}}$	53863,3
3 Отчисления в социальные фонды	$C_{\text{соц}}$	16158,99
4 Расходы на электроэнергию	Э	161,39
5 Амортизационные отчисления	$C_{\text{ам}}$	517,33
6 Непосредственно учитываемые расходы	$C_{\text{нр}}$	–
7 Прочие расходы	$C_{\text{проч}}$	7093,2
Итого:		78025,21

Таким образом, расходы на разработку составили $C = 78025,21$ руб.

Прибыль

Примем прибыль в размере 5 - 20 % от полной себестоимости проекта. В нашем случае она составляет 15605,04 руб. (20 %) от расходов на разработку проекта.

НДС

НДС составляет 18% от суммы затрат на разработку и прибыли:

$$(78025,21 + 15605,04) \cdot 0,18 = 16853,45 \text{ руб.}$$

Цена разработки НИР

Цена равна сумме полной себестоимости, прибыли и НДС, в нашем случае

$$C_{\text{НИР(КР)}} = 78025,21 + 15605,04 + 16853,45 = 110483,7 \text{ руб}$$

9.3 Оценка научно-технического уровня НИР

Научно-технический уровень характеризует, в какой мере выполнены работы и обеспечивается научно-технический прогресс в данной области. Для оценки научной ценности, технической значимости и эффективности, планируемых и выполняемых НИР, используется метод бальных оценок. Бальная оценка заключается в том, что каждому фактору по принятой шкале присваивается определенное количество баллов. Обобщенную оценку проводят по сумме баллов по всем показателям или рассчитывают по формуле. На этой основе делается вывод о целесообразности НИР.

Сущность метода заключается в том, что на основе оценок признаков работы определяется коэффициент ее научно-технического уровня по формуле:

$$K_{\text{НТУ}} = \sum_{i=1}^3 R_i \cdot n_i, \quad (9.14)$$

где $K_{\text{НТУ}}$ – коэффициент научно-технического уровня;
 R_i – весовой коэффициент i -го признака научно-технического эффекта;

n_i – количественная оценка i -го признака научно-технического эффекта, в баллах.

Таблица 9.8 – Весовые коэффициенты признаков НТУ

Признак НТУ	Примерное значение весового коэф-та n_i
1 Уровень новизны	0,4
2 Теоретический уровень	0,1
3 Возможность реализации	0,5

Таблица 9.9 – Баллы для оценки уровня новизны

Уровень новизны	Характеристика уровня новизны	Баллы
Принципиально новая	Новое направление в науке и технике, новые факты и закономерности, новая теория, вещество, способ	8 – 10
Новая	По-новому объясняются те же факты, закономерности, новые понятия дополняют ранее полученные результаты	5 – 7
Относительно новая	Систематизируются, обобщаются имеющиеся сведения, новые связи между известными факторами	2 – 4
Не обладает новизной	Результат, который ранее был известен	0

Таблица 9.10 – Баллы значимости теоретических уровней

Теоретический уровень полученных результатов	Баллы
1 Установка закона, разработка новой теории	10
2 Глубокая разработка проблемы, многоспектральный анализ, взаимодействия между факторами с наличием объяснений	8
3 Разработка способа (алгоритм, программа и т. д.)	6
4 Элементарный анализ связей между фактами (наличие гипотезы, объяснения версии, практических рекомендаций)	2
5 Описание отдельных элементарных факторов, изложение наблюдений, опыта, результатов измерений	0,5

Таблица 9.11 – Возможность реализации научных, теоретических результатов по времени и масштабам

Время реализации	Баллы
В течение первых лет	10
От 5 до 10 лет	4
Свыше 10 лет	2

Результаты оценок признаков научно-технического уровня приведены в таблице 9.12.

Таблица 9.12 – Количественная оценка признаков НИОКР

Признак научно-технического НИР	научно-эффекта	Характеристика признака НИОКР	R_i
Уровень новизны		Систематизируются и обобщаются сведения, определяются пути дальнейших исследований	0,4
Теоретический уровень		Разработка способа (алгоритм, программа мероприятий, устройство, вещество и т.п.)	0,1
Возможность реализации		Время реализации в течение первых лет	0,5
Масштабы реализации		Отрасль	

Примечание: баллы по параметрам времени и масштабам реализации при расчете складываются.

Исходя из оценки признаков НИОКР, показатель научно-технического уровня для данного проекта составил:

$$K_{\text{НТУ}} = 0,4 \cdot 4 + 0,1 \cdot 6 + 0,5 \cdot 10 = 1,6 + 0,1 + 5 = 7,2$$

Таким образом, исходя из данных в таблице 5.15, проект «Макет принципов КТ» имеет средний уровень научно-технического эффекта.

Таблица 9.13 – Оценка уровня научно-технического эффекта

Уровень НТЭ	Показатель НТЭ
Низкий	1-4
Средний	4-7
Высокий	8-10

Обоснование оценки признаков НИОКР приводится в таблице 9.14.

Фактор НТУ	Значимость	Уровень фактора	Выбранный балл	Обоснование выбранного балла
Уровень новизны	0,4	Относительно новая	4	Созданное КУ объединяет известные принципы для реализации на новом оборудовании
Теоретический уровень	0,1	Разработка способа	6	Написание программы ПКУ на микроконтроллере Siemens Simatic s7-400
Возможность реализации	0,5	В течение первых лет	10	Возможна реализация в кратчайшие сроки

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В результате выполнения выпускной квалификационной работы был разработан, исследован и программно реализован на контроллере SIMATIC S7-400 псевдолинейный нечеткий ПИД - регулятор.

Проводилось исследование САР с псевдолинейным нечетким ПИД - регулятором для объектов управления первого, второго и третьего порядка без запаздывания и с запаздыванием. Результаты исследования показали, что применение данного регулятора позволяет улучшить качество системы управления при изменении параметров объекта управления в определенных пределах.

Программная реализация псевдолинейного нечеткого ПИД - регулятора была произведена в программном пакете STEP7 на языке программирования STL.

Были разработаны методические указания по выполнению лабораторной работы “Изучение нечеткого регулятора”, которые позволят студентам получить изучить псевдолинейный нечеткий регулятор и получить практический навыки по его реализации на контроллере.

Результаты работы будут использоваться в учебном процессе кафедры АиКС ТПУ при изучении курса “Автоматизированные информационно-управляющие системы”.

CONCLUSION

As a result of qualification work performance a fuzzy controller of fuzzy control systems was developed, studied and software implemented on the controller SIMATIC S7-400.

Research of systems of fuzzy control with the object of control of the first, second and third order with delay and without the delay is conducted. The results of research showed that use of this fuzzy controller allows to improve the quality of systems of fuzzy control of a changing parameters of the object of control.

Software implementation of the fuzzy controller of fuzzy control systems has been made in the software package STEP7 on the programming language STL

The guidelines for implementation of laboratory work “The study of fuzzy controller” in the software package STEP7 on the programming language STL were developed.

Results of work will be used in the Department of Automation and Computer Systems TPU learning process in the study of the course “Automated information management systems”.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. F. Fujitec, FLEX-8800 series elevator group control system, Fujitec Co., Ltd., Osaka, Japan, 1988.
2. Kovacic Z., Bogdan S. Fuzzy Controller Design. Theory and Applications - Arlington: Taylor & Francis Group. 2006.
3. Li H.-X., Chen G.-R. Dual features of conventional fuzzy logic control - Acta Automatica Sinica. 2001. - P. 447—459. <
4. Li H.-X., Gatland H. B. A new methodology for designing a fuzzy logic controller – IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics. 1995. - P. 505-512.
5. Li H.-X., Gatland H. B., Green A. W. Fuzzy variable structure control - IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics. Part B. 1997. - P. 306-317
6. Li W. Design of a hybrid fuzzy logic proportional plus conventional integral-derivative controller - IEEE Transactions on Fuzzy Systems. 1998. - P. 449-463.
7. Li H.-X., Tso S.K. Quantitative design analysis of fuzzy proportional-integral-derivative control — a step towards autotuning - International Journal of Science. 2000. - P. 545—553. o
8. Li H.-X., Zhang L., Cai K.-Y., Chen G. An improved robust fuzzy-pid controller with optimal fuzzy reasoning - IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics. Part B. 2005. - P. 1283—1294.
9. Mamdani E. H. Applications of fuzzy algorithms for simple dynamic plant. Proc. IEE., 1974.
10. Zade L. A. The concept of a linguistic variable and its application to approximate reasoning. Part 1, 2, 3 // Information Sciences, n. 8 pp.199-249, pp.301-357; n. 9 pp. 43-80.
11. Леоненков, Александр В. Нечеткое моделирование в среде MATLAB и fuzzyTECH. — СПб. : БХВ-Петербург, 2003. — 719 с.
12. Панько М.А. Особенности нечетких алгоритмов регулирования в сравнении с классическими// Теплоэнергетика.2001. №10. С. 39-42

12. Прасов, М. Т. Алгоритм дефаззификации при синтезе нечеткого регулятора автоматизированных систем контроля и управления // Промышленные АСУ и контроллеры : Ежемесячный научно-технический производственный журнал . — М. — 2006. — № 6. — С. 41-42.
13. Ротач В.Я. О фазы-ПИД регуляторах//Теплоэнергетика. 1999. №8. С. 32-36.
14. Ротач, В. Я. Возможен ли синтез нечётких регуляторов с помощью теории нечётких множеств? // Промышленные АСУ и контроллеры : Ежемесячный научно-технический производственный журнал . — М. — 2004. — № 1. — С. 33-34.
15. Современная прикладная теория управления: Новые классы регуляторов технических систем/ Под ред. А.А. Колесникова. Таганрог: ТРТУ, 2000. ч.Ш.
16. Стальский Владимир Вильгельмович. Нечеткая логика и ее применение в автоматическом регулировании. — СПб: 1998. — 94 с.
17. Усков, А. А. Алгоритм синтеза нечётких логических регуляторов на основе самоорганизации // Приборы и системы. Управление, контроль, диагностика : Журнал. — М. — 2004. — № 8. — С. 1-3.
18. Усков, А. А. Эмпирический принцип синтеза нечётких логических регуляторов // Приборы и системы. Управление, контроль, диагностика : Журнал. — М. — 2004. — № 1. — С. 16-18

ПРИЛОЖЕНИЕ А

(обязательное)

Introduction

Студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
8AM41	Очиров Владислав Викторович		

Консультант кафедры АИКС:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Ассистент	Ефремов А.А			

Консультант – лингвист кафедры ИЯИК:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Старший преподаватель кафедры ИЯИК	Логинова А.В.	к.ф.н.		

INTRODUCTION

The fuzzy management appears especially useful, when the technological processes are too difficult for the analysis with the help of the standard quantitative methods or when the accessible sources of the information are interpreted qualitatively, is inexact or vaguely. The fuzzy logic, on which the fuzzy management is based, is closer on spirit to human thinking and natural languages, than traditional logic systems. The fuzzy logic, basically, provides effective means of display vagueness and discrepancies of the real world. The presence of mathematical means of reflection of an illegibility of the initial information allows to construct model adequate to a reality.

B.1. BASIS OF THE THEORY OF FUZZY SETS, FUZZY LOGIC

B.1.1. Concept of fuzzy set of its characteristic and its basic properties

Concept set understand set of elements having some common property. Thus any element beforehand axiomatic or belongs to the given set, or does not belong. However, as the practice applied shows researches similar “Boolean” a principle in overwhelming majority of cases does not answer processes proceeding in real complex systems, that is results in unjustified idealization of the mathematical description of such systems. Differently, language of usual sets appears insufficiently flexible for formalization of elements of uncertainty inherent in real systems.

The concept of fuzzy set is based on the assumption, that any element only somewhat belongs to the given set, therefore one of the basic ways of the mathematical description of fuzzy set is the definition of a degree of such accessory by some number, for example from an interval $[0,1]$. Thus the borders of an interval, that is 1 and 0, mean, accordingly, “belongs” and “does not belong” [1],[20].

Definition 1. Let E - universal set, x - element E , and R - some property. The usual (precise) subset A of universal set E , which elements satisfy to property R , is determined as set of the ordered pairs:

$$A = \{\mu_A(x) / x\} ,$$

Where $\mu_A(x)$ - the characteristic function accepting meaning 1, if x satisfies to property R, and 0 - otherwise.

The fuzzy subset differs from usual themes, that for elements x from E there is no unequivocal answer “yes – no” concerning property R. In this connection the indistinct subset A of universal set E is determined as set of the ordered pairs:

$$A = \{\mu_A(x) / x\} ,$$

Where $\mu_A(x)$ - the characteristic function of an accessory (or is simple function of an accessory), accepting meaning in some quite ordered set M .

The function of an accessory specifies a degree (or level) accessory of an element x to a subset A . Set M name by set of accessories. If $M = \{0,1\}$, the indistinct subset A can be considered as usual or precise set.

Examples of record of fuzzy set:

Let $E = \{x_1, x_2, x_3, x_4, x_5\}$, $M = [0, 1]$; A - fuzzy set, for which

$$\mu_A(x_1) = 0,3; \quad \mu_A(x_2) = 0; \quad \mu_A(x_3) = 1; \quad \mu_A(x_4) = 0,5; \quad \mu_A(x_5) = 0,9.$$

Then A is possible to present as:

$$A = \{0,3/x_1, 0/x_2, 1/x_3, 0,5/x_4, 0,9x_5\},$$

Or

$$A = \{0,3/x_1 + 0/x_2 + 1/x_3 + 0,5/x_4 + 0,9x_5\}.$$

The remark: Here mark “+” is not a designation of operation of addition, and it is meaningful associations.

Now we shall result the basic characteristics of indistinct sets. Let and A - indistinct set with elements of universal set E and set of accessories M .

Definition 2. The size $\sup_{x \in E} \mu_A(x)$ is called as height of fuzzy set A . Fuzzy sets A it is normal, if its height is equal 1, that is the top border of its function of an accessory is equal 1 ($\sup_{x \in E} \mu_A(x) = 1$). If $\sup_{x \in E} \mu_A(x) < 1$ fuzzy set is called subnormal.

Definition 3. The fuzzy set is empty, if $\forall x \in E, \mu_A(x) = 0$. The not empty subnormal set can be normalized under the formula:

$$\mu_A(x) = \frac{\mu_A(x)}{\sup_{x \in E} \mu_A(x)}.$$

Definition 4. Indistinct set unimodality, if $\mu_A(x) = 1$ only on one x from E .

Definition 5. The carrier of fuzzy set A is the usual subset with property $\mu_A(x) > 0$, that is carrier $A = \{x / x \in E, \mu_A(x) > 0\}$.

Definition 6. The elements $x \in E$, for which $\mu_A(x) = 0,5$ are called as points of transition of set A .

Examples of fuzzy sets:

Let $E = \{0, 1, 2, \dots, 10\}$, $M = \{0, 1\}$. The fuzzy set can be determined as follows “A little”: “A little” $= 0,5/3 + 0,8/4 + 1/5 + 1/6 + 0,8/7 + 0,5/8$; its characteristics: height=1, carrier = $\{3,4,5,6,7,8\}$, point of transition - $\{3,8\}$.

Let $E = \{0, 1, 2, \dots, n, \dots\}$. The fuzzy set “Small” can be determined:

$$\text{“Small”} = \left\{ \mu_{small}(n) = \frac{1}{1 + (n/10)^2} / n \right\}.$$

Let $E = \{0, 1, 2, \dots, 100\}$ there corresponds to concept “Age”, then the fuzzy set “Young” can be determined with the help:

$$\mu_{young}(x) = \begin{cases} 1, & x \in [1, 25] \\ \frac{1}{1 + ((x - 25)/5)^2}, & x > 25 \end{cases}.$$

The fuzzy set “Young” on universal set $E = \{\text{IVANOV, PETROV, SIDOROV, ...}\}$ is set with the help of function of an accessory $\mu_{young}(x)$ on $E = \{0, 1, 2, \dots, 100\}$ (age) named in relation to E as function of compatibility, thus:

$$\mu_{young}(\text{SIDOROV}) = \mu_{young}(x),$$

Where x - age of SIDOROV.

Let $E = \{\text{ZAPOR, LADA, MERSEDES, ...}\}$ - set of the stamps of automobiles, and - universal set “Cost”, then on E we can determine fuzzy sets

such as “ For poor “, “ For middle class “, “Prestigious”, with functions of an accessory of a kind of a fig. B.1.

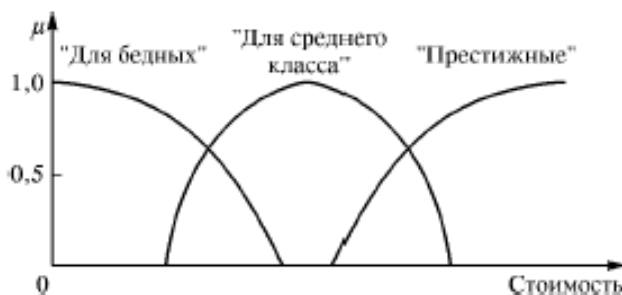


Fig. B.1 - Examples of functions of an accessory

Having these functions and knowing cost of automobiles from E at the given moment of time, we thus shall determine on E fuzzy sets with the same names.

So, for example, fuzzy set “ For poor “, given on universal set $E = \{ \text{ZAPOR, LADA, MERSEDES, ...} \}$, looks how is shown on fig. B.2.

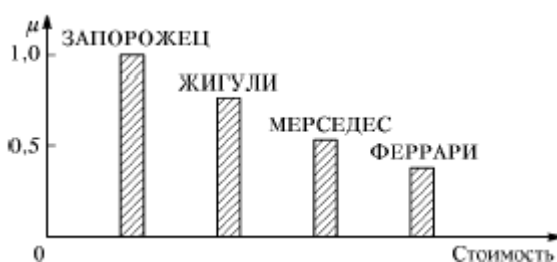


Fig. B.2 - Example of the task of fuzzy set

It is similarly possible to determine fuzzy set “High-speed”, “Average”, “low-speed” and so on.

Let E - set of integers:

$$E = \{-8, -5, -3, 0, 1, 2, 4, 6, 9\}.$$

Then it is possible to determine an fuzzy subset of numbers, on absolute size close to zero, for example, so:

$$A = \{0/-8 + 0,5/-5 + 0,6/-3 + 1/0 + 0,9/1 + 0,8/2 + 0,6/4 + 0,3/6 + 0/9\}.$$

Further we shall consider the basic logic and algebraic operations above odd sets, and also their property. Let's begin from consideration of logic operations.

Definition 7. Let A and B - fuzzy sets on the unified set E. Speak, that A contains B, if $\forall x \in E \quad \mu_A(x) \leq \mu_B(x)$. The given operation is called as operation of inclusion and is designated as $A \subset B$.

The term domination is sometimes used, that is in a case, when $A \subset B$, speak, that B dominates above A.

Definition 8. Equality. Let A and B - fuzzy sets on the unified set E. Speak, that A is equal B, if $\forall x \in E \quad \mu_A(x) = \mu_B(x)$. Is designated as $A = B$.

Definition 9. Addition. Let A and B - fuzzy sets on the unified set E, let $M = [0,1]$. A and B supplement each other, if $\forall x \in E \quad \mu_A(x) = 1 \Leftrightarrow \mu_B(x)$. Is designated as $B = \bar{A}$ or $\bar{A} = B$.

It is obvious, that $\bar{\bar{A}} = A$ (the addition is determined for $M = [0,1]$, but it is obvious, that it can be determined for any ordered M).

Definition 10. Crossing. $A \cap B$ - greatest fuzzy subset contained simultaneously and in A and in B.

$$\mu_{A \cap B}(x) = \min(\mu_A(x), \mu_B(x)).$$

Definition 11. Association. $A \cup B$ - least fuzzy subset including as A, and B, with function of an accessory:

$$\mu_{A \cup B}(x) = \max(\mu_A(x), \mu_B(x)).$$

Definition 12. A difference $A \ominus B = A \cap \bar{B}$. With function of an accessory:

$$\mu_{A \ominus B}(x) = \mu_{A \cap \bar{B}} = \min(\mu_A(x), 1 \ominus \mu_B(x)).$$

Definition 13. The disjunctive sum.

$A \oplus B = (A \ominus B) \cup (B \ominus A) = (A \cap \bar{B}) \cup (\bar{A} \cap B)$, with function of an accessory:

$$\mu_{A \oplus B}(x) = \max(\min(\mu_A(x), 1 \ominus \mu_B(x)); \min(1 \ominus \mu_A(x), \mu_B(x))).$$

Examples: Let

$$A = 0,4/x_1 + 0,2/x_2 + 0/x_3 + 1/x_4;$$

$$B = 0,7/x_1 + 0,9/x_2 + 0,1/x_3 + 1/x_4;$$

$$C = 0,1/x_1 + 1/x_2 + 0,2/x_3 + 0,9/x_4.$$

Here:

- $A \subset B$, that is A contains in B or B dominates above A; C incomparably neither with A, nor with B, that is pair {A, C} and {B, C} - pair undominated of fuzzy sets.
- $A \neq B \neq C$.
- $\bar{A} = 0,6/x_1 + 0,8/x_2 + 1/x_3 + 0/x_4$;
- $\bar{B} = 0,3/x_1 + 0,1/x_2 + 0,9/x_3 + 0/x_4$.
- $A \cap B = 0,4/x_1 + 0,2/x_2 + 0/x_3 + 1/x_4$.
- $A \cup B = 0,7/x_1 + 0,9/x_2 + 0,1/x_3 + 1/x_4$.
- $A - B = A \cap \bar{B} = 0,3/x_1 + 0,1/x_2 + 0/x_3 + 0/x_4$;
- $B - A = \bar{A} \cap B = 0,6/x_1 + 0,8/x_2 + 0,1/x_3 + 0/x_4$.
- $A \oplus B = 0,6/x_1 + 0,8/x_2 + 0,1/x_3 + 0/x_4$.

Let's consider properties of operations crossing and association:

- Commutativity.

$$A \cap B = B \cap A \quad \text{и} \quad A \cup B = B \cup A.$$

- Associativity.

$$(A \cap B) \cap C = (B \cap A) \cap C \quad \text{и} \quad (A \cup B) \cup C = (B \cup A) \cup C.$$

- Idempotency.

$$A \cap A = A \quad \text{и} \quad A \cup A = A.$$

- Distributivity.

$$(A \cap (B \cup C)) = (A \cap B) \cup (A \cap C)$$

и

$$(A \cup (B \cap C)) = (A \cup B) \cap (A \cup C).$$

- $A \cup \otimes = A$, where \otimes - empty set, that is $\mu_{\otimes}(x) = 0 \quad \forall x \in E$.
- $A \cap \otimes = \otimes$.
- $A \cap E = A$, where E - universal set.

- $A \cup E = E$.
- De Morgan theorems
- $\overline{A \cap B} = \overline{A} \cup \overline{B}$ и $\overline{A \cup B} = \overline{A} \cap \overline{B}$.

As against precise sets, for indistinct sets generally:

$$A \cap \overline{A} \neq \emptyset, \quad A \cup \overline{A} \neq E.$$

The remark: the entered above operations above fuzzy sets are based on use of operations max and min. In the theory of fuzzy sets the questions of construction generalized, parametrization of the operators of crossing, association and addition allowing to take into account various semantic shades appropriate them copula “and”, “or”, “not” are developed.

One of the approaches to the operators of crossing and association consists in their definition in a class of triangular norms and conorm.

As triangular norm (t-norm) the two-local valid function $T : [0,1] \times [0,1] \rightarrow [0,1]$, satisfying to the following conditions is called:

- $T(0,0) = 0$; $T(\mu_A, 1) = \mu_A$; $T(1, \mu_A) = \mu_A$ - limitation.
- $T(\mu_A, \mu_B) \leq T(\mu_C, \mu_D)$, if $\mu_A \leq \mu_C$, $\mu_B \leq \mu_D$ - monotony.
- $T(\mu_A, \mu_B) = T(\mu_B, \mu_A)$ - commutativity.
- $T(\mu_A, T(\mu_B, \mu_C)) = T(T(\mu_A, \mu_B), \mu_C)$ - associativity.

Examples of triangular norms:

$$\min(\mu_A, \mu_B); \quad \mu_A \cdot \mu_B; \quad \max(0, \mu_A + \mu_B - 1).$$

Triangular conorm (t-conorm) the two-local valid function $S : [0,1] \times [0,1] \rightarrow [0,1]$, with properties is called:

- $S(1,1) = 1$; $S(\mu_A, 0) = \mu_A$; $S(0, \mu_A) = \mu_A$ - limitation.
- $S(\mu_A, \mu_B) \geq S(\mu_C, \mu_D)$, if $\mu_A \geq \mu_C$, $\mu_B \geq \mu_D$ - monotony.
- $S(\mu_A, \mu_B) = S(\mu_B, \mu_A)$ - commutativity.
- $S(\mu_A, S(\mu_B, \mu_C)) = S(S(\mu_A, \mu_B), \mu_C)$ - associativity.

Examples t - conorm:

$$\max(\mu_A, \mu_B); \mu_A + \mu_B - \mu_A \cdot \mu_B; \min(1, \mu_A + \mu_B).$$

Further we shall proceed to consideration of algebraic operations above indistinct sets, and also their properties.

Definition 14. The algebraic product A and B is designated $A \times B$ and is determined so: $\forall x \in E, \mu_{A \times B}(x) = \mu_A(x) \times \mu_B(x)$.

Definition 15. The algebraic sum of these sets is designated $A + B$ and is determined so: $\forall x \in E, \mu_{A+B}(x) = \mu_A(x) + \mu_B(x) \Leftrightarrow \mu_A(x) \times \mu_B(x)$.

For operations of product and the sums are carried out properties:

- Commutativity.

$$A \times B = B \times A \quad \text{and} \quad A + B = B + A.$$

- Associativity.

$$(A \times B) \times C = A \times (B \times C) \quad \text{and} \quad (A + B) + C = A + (B + C).$$

- $A \times \emptyset = \emptyset, \quad A + \emptyset = A, \quad A \times E = A, \quad A + E = E$.

- De Morgan theorems

$$\overline{A \times B} = \overline{A} + \overline{B} \quad \text{and} \quad \overline{A + B} = \overline{A} \times \overline{B}.$$

Are not carried out:

- Idempotency.

$$A \times A = A \quad \text{and} \quad A + A = A.$$

- Distributivity.

$$A \times (B + C) = (A \times B) + (A \times C) \quad \text{and} \quad A + (B \times C) = (A + B) \times (A + C).$$

- $A \times \overline{A} = \emptyset, \quad A + \overline{A} = E$.

The remark: At sharing operations of association, crossing, product and the sums are carried out the following properties:

- $A \times (B \cup C) = (A \times B) \cup (A \times C)$.
- $A \times (B \cap C) = (A \times B) \cap (A \times C)$.
- $A + (B \cup C) = (A + B) \cup (A + C)$.
- $A + (B \cap C) = (A + B) \cap (A + C)$.

On the basis of operation of algebraic product the operation of erection in a degree α of fuzzy set A, where α - positive number is determined. The fuzzy set A^α is determined by function of an accessory $\mu_A^\alpha = \mu_A^\alpha(x)$. A special case of erection in a degree are:

- $CON(A) = A^2$ - operation of concentration (condensation);
- $DIL(A) = A^{0,5}$ - operation of a stretching,

Which are used at job with linguistic vagueness (fig. B.3.)

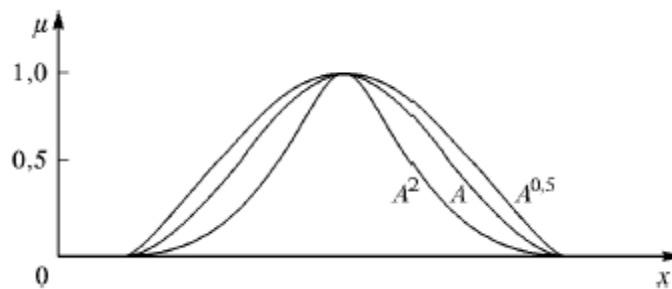


Fig. B.3 - Illustration to concept of operations of concentration (condensation) and stretching

B.1.2. Linguistic variable and fuzzy numbers

The applied researches of last years have shown, that the usual methods of the analysis of systems and modeling on the computer based on exact processing of the numerical data, in essence are not capable to capture huge complexity of real technological processes. This circumstance results that for reception of essential conclusions about behaviour last it is necessary to refuse the traditional requirements to accuracy of measurements, which were necessary at the mathematical analysis of the precisely certain mechanical systems.

Necessity to endow accuracy and determinacy is dictated also by occurrence of the certain classes of tasks of management connected to acceptance of the decisions by the operator in a contour “the man - the computer”. The realization of dialogue in such contour is impossible without use of languages close to natural, capable to describe indistinct categories approached to human concepts and representations. In this connection it is expedient to use concepts

linguistic variable, entered for the first time L. Zade. Similar linguistic variable allow adequately to reflect the approximate verbal description of subjects and phenomena in that case, when the exact determined description is absent. Thus it is necessary to take into account, that many indistinct categories described linguistic, frequently not less informative, than exact description [2],[20].

Definition 16. Linguistic variable (LV) the set (β, T, X, G, M) , where is called:

β - Name linguistic variable;

T - the set of its meanings (term - set) representing name fuzzy variable, range of definition by each of which is set X. The set T is called as base term - set linguistic variable;

G - syntactic procedure allowing to operate by elements of term - set T, in particular, to generate new terms (meaning). The set $T \cup G(T)$, where G (T) - set of the generated terms, is called as the extended term - set linguistic variable;

M - semantic procedure allowing to transform each new meaning linguistic variable, formed by procedure G, in fuzzy variable, that is to generate the appropriate fuzzy set.

The remark: to avoid a plenty of symbols:

- A symbol β use both for the name by most variable, and for all of its meanings;
- Use the same symbol for a designation of indistinct set and its name, for example term “Young”, being meaning linguistic variable $\beta = \text{“age”}$, simultaneously there is also fuzzy set M (“Young”).

The assignment of several meanings to symbols assumes, that the context allows to solve to possible uncertainty.

Example. Let expert determines thickness of a let out product with the help of concepts “ Small thickness “, “ Average thickness “ and “ the Large thickness “, thus the minimal thickness is equal 10 mm, and maximal - 80 mm.

The formalization of such description can be carried out (spent) with the help following (next) linguistic variable (β ; T; X; G; M), where

β - Thickness of a product;

T - {“ Small thickness “, “ Average thickness “, “ the Large thickness “};

X - [10; 80];

G - procedure of education of new terms with the help copula “and”, “or” and modifiers such as “very”, “not”, “slightly” and ò. Item. For example: “ Small or average thickness “, “ very small thickness “ etc;

M - procedure of the task on $X = [10; 80]$ of indistinct subsets $A_1 =$ “ Small thickness “, $A_2 =$ “ Average thickness “, $A_3 =$ “ the Large thickness “, and also fuzzy sets for terms from G (T) according to rules of compilation fuzzy copula and modifiers “and”, “or”, “not”, “very much”, “slightly” and other operations above fuzzy sets of a kind: $A \cup B$, $A \cap B$, \bar{A} , $CON A = A^2$, $DIL A = A^{0.5}$ etc.

The remark. Alongside with the considered above base meanings linguistic variable “Thickness” ($T =$ {“ Small thickness “; “ Average thickness “; “ the Large thickness “}) the meanings (importance) dependent on a range of definition X are possible (probable). In this case meanings (importance) linguistic variable “ Thickness of a product “ can be determined as “ about 20 mm “, “ about 50 mm “, “ about 70 mm “, that is as fuzzy numbers.

The term - set and extended term - set in conditions of an example can be characterized by functions of an accessory given in a fig. B.4. and B.5.

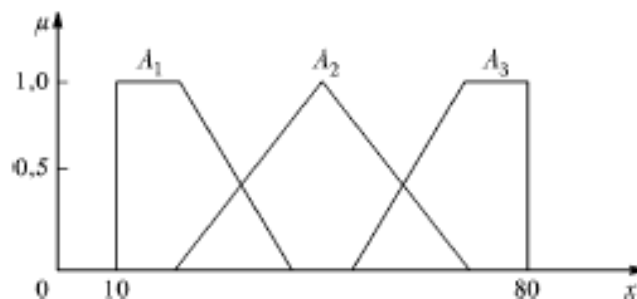


Fig. B.4 - Function of an accessory of fuzzy sets: $A_1 =$ “ Small thickness “,

$A_2 =$ “ Average thickness “, $A_3 =$ “ the Large thickness “

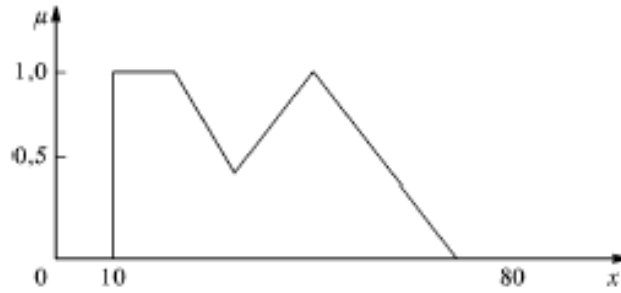


Fig. B.5 - Function of an accessory of fuzzy set

$$A_1 \cup A_2 = \text{“ Small or average thickness “}$$

Further we shall proceed to consideration fuzzy variable and we shall give the basic definitions.

Definition 17. Fuzzy numbers - fuzzy variable, determined on a numerical axis, that is the fuzzy number is determined as fuzzy set A on set of real numbers R with function of an accessory $\mu_A(x) \in [0,1]$, where x - real number, that is $x \in R$.

Definition 18. The fuzzy number A - is normal, if $\max \mu_A(x) = 1$; convex, if for any

$x \leq y \leq z$ is carried out:

$$\mu_A(x) \leq \mu_A(y) \leq \mu_A(z).$$

The set of a α -level of fuzzy number A is determined as:

$$A_\alpha = \{x / \mu_A(x) \geq \alpha\}.$$

The subset $S_A \subset R$ is called as the carrier of fuzzy number A, if:

$$S_A = \{x / \mu_A(x) > 0\}.$$

Definition 19. The fuzzy number A - unimodality, if $\mu_A(x) = 1$ is fair only for one point of the valid axis.

Definition 20. The convex fuzzy number A is called as fuzzy zero, if

$$\mu_A(0) \leq \sup(\mu_A(x))$$

Definition 21. The fuzzy number A is positive, if $\forall x \in S_A, x > 0$ and negatively, if $\forall x \in S_A, x < 0$.

The extended binary arithmetic operations (addition, multiplication and other) for fuzzy numbers are determined through the appropriate operations for precise numbers with use of a principle of generalization as follows.

Let A and B - fuzzy numbers, and $\bar{\times}$ - fuzzy operation appropriate to any algebraic operation \times above usual numbers. Then (using here both further \bigvee_x instead of \max_x and \bigwedge_x instead of \min_x) it is possible to write down:

$$C = A \bar{\times} B \Leftrightarrow \mu_C(z) = \bigvee_{Z=X \star Y} (\mu_A(x) \wedge \mu_B(y)).$$

From here:

$$C = A \bar{+} B \Leftrightarrow \mu_C(z) = \bigvee_{Z=X+Y} (\mu_A(x) \wedge \mu_B(y)),$$

$$C = A \bar{-} B \Leftrightarrow \mu_C(z) = \bigvee_{Z=X-Y} (\mu_A(x) \wedge \mu_B(y)),$$

$$C = A \bar{\cdot} B \Leftrightarrow \mu_C(z) = \bigvee_{Z=X \cdot Y} (\mu_A(x) \wedge \mu_B(y)),$$

$$C = A \bar{\div} B \Leftrightarrow \mu_C(z) = \bigvee_{Z=X \div Y} (\mu_A(x) \wedge \mu_B(y)),$$

$$C = \bar{\max}(A, B) \Leftrightarrow \mu_C(z) = \bigvee_{Z=\max(X, Y)} (\mu_A(x) \wedge \mu_B(y)),$$

$$C = \bar{\min}(A, B) \Leftrightarrow \mu_C(z) = \bigvee_{Z=\min(X, Y)} (\mu_A(x) \wedge \mu_B(y)).$$

Fuzzy numbers (L-R) such as is a version of fuzzy numbers of a special kind, that is set on the certain rules with the purpose of decrease of volume of calculations at operations above them.

The functions of an accessory of fuzzy numbers (L-R) of a type are set with the help of non-negative real numbers, not growing on set, of functions valid variable L (x) and R (x), satisfying to conditions:

$$1) L(\Leftrightarrow x) = L(x), \quad R(\Leftrightarrow x) = R(x);$$

$$2) L(0) = R(0).$$

It is obvious, that the functions concern to a class (L-R) of functions, which diagrams look like, given on a fig. B.6.

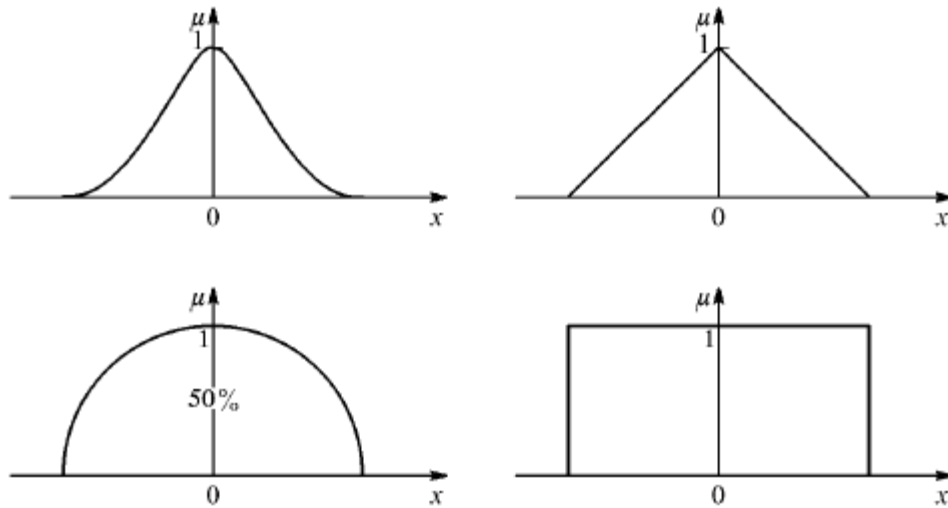


Fig. B.6 - Possible kind (L-R) of functions

Examples of the analytical task (L-R) of functions can be:

$$L(x) = e^{-|x|^p}, p \geq 0; \quad R(x) = \frac{1}{1+|X|^p}, p \geq 0.$$

Let L (y) and R (y) - function (L-R)-type (concrete). Unimodality the fuzzy number A with a style a (that is $\mu_A(a) = 1$) with the help L (y) and R (y) is set as follows:

$$\mu_A(x) = \begin{cases} L\left(\frac{a \Leftrightarrow x}{\alpha}\right) & \text{npu } x \leq a, \\ R\left(\frac{x \Leftrightarrow a}{\beta}\right) & \text{npu } x > a \end{cases},$$

Where a - style; $\alpha > 0, \beta > 0$ - left and right factors of an illegibility.

Thus, at given L (y) and R (y) the fuzzy number unimodality is set three $A = (a, \alpha, \beta)$.

The tolerant fuzzy number is set, accordingly, four of parameters $A = (a_1, a_2, \alpha, \beta)$, where a1 and a2 - border of tolerance, that is in an interval [a1, a2] the meaning of function of an accessory is equal 1.

Examples of the diagrams of functions of an accessory of fuzzy numbers (L-R) such as are given on fig B.7.

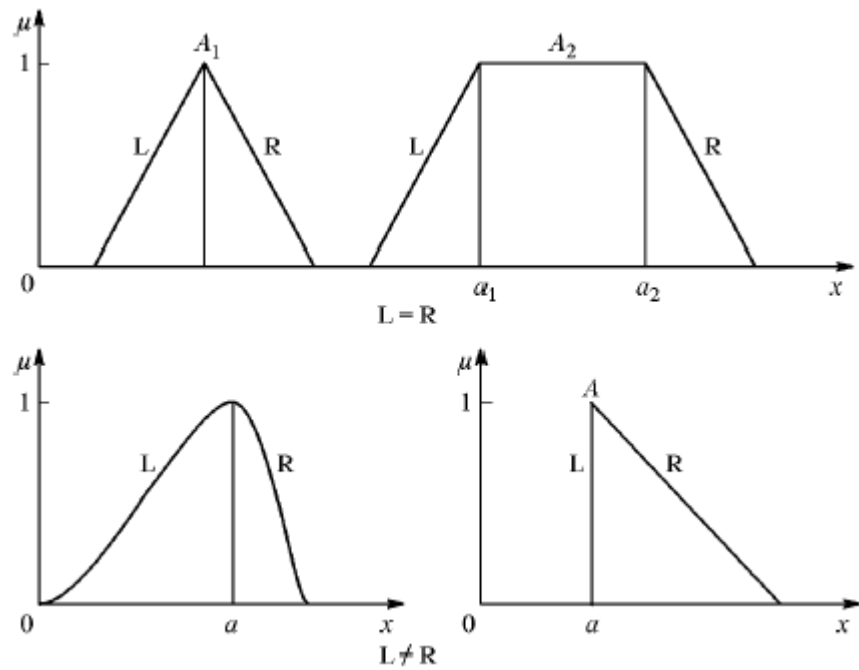


Fig B.7 - Examples of the diagrams of functions of an accessory of fuzzy numbers (L-R) of a type

\

Let's note, that in concrete cases of function $L(y)$ and $R(y)$, and also the parameters α, β of fuzzy numbers (a, α, β) and $(a_1, a_2, \alpha, \beta)$ should be selected so that result of operation (addition, subtraction, divisions etc.) was exact or is approximately equal to fuzzy number with same $L(y)$ and $R(y)$, and the parameters $\alpha' u \beta'$ of result did not leave for frameworks of restrictions on these parameters for initial fuzzy numbers, is especial if the result further will participate in operations.

The remark: the decision of tasks of mathematical modeling of complex systems with application of the device of fuzzy sets demands performance of large volume of operations above a different sort linguistic and others fuzzy variable. For convenience of performance of operations, and also for input-output and storage of the data, it is desirable to work with functions of an accessory of a standard kind [2],[21].

The fuzzy sets, which it is necessary to operate in the majority of tasks with, are, as a rule, unimodal and normal. One of possible methods of

approximation unimodal of fuzzy sets is the approximation with the help of functions

(L-R) of a type.

The examples (L-R) of representations are submitted in the table B.1.

The table B.1 - Possible (L-R) representation some linguistic variable

Терм ЛП	(L-R)-представление	Графическое представление
Средний	$A = (a, \alpha, \beta)_{LR}$ $\alpha = \beta > 0$	$\alpha \beta$
Малый	$A = (a, \infty, \beta)_{LR}$ $\alpha = \infty$	$\alpha = \infty \beta$
Большой	$A = (a, \alpha, \infty)_{LR}$ $\beta = \infty$	$\alpha \beta = \infty$
Приблизительно в диапазоне	$A = (a_1, a_2, \alpha, \beta)_{LR}$ $\alpha = \beta > 0$	$\alpha \beta$ $a_1 a_2$
Определенный	$A = (a, 0, 0)_{LR}$ $\alpha = \beta = 0$	$\alpha = 0 \beta = 0$
Разнообразный: зона полной неопределенности	$A = (a, \infty, \infty)_{LR}$ $\alpha = \beta = \infty$	$\alpha = \beta = \infty$

B.1.3. Fuzzy logic and its basic properties (fuzzy conclusions)

According to one of the most widespread definitions, the logic is the analysis of methods of reasonings. Studying these methods, the logic is interested first of all in form, instead of contents of reasons in this or that reasoning. The validity or falsity of separate parcels or conclusions does not interest logic. It interests only, whether the validity of the conclusion from the validity of parcels follows. Regular formalization and cataloguing of correct ways of reasonings - one of the basic tasks of logic.

In logic it is possible to make of the simple statements by connection by their various ways new, more complex statements.

Used in various sorts expert and managing systems the mechanism of fuzzy conclusions in the basis has base of knowledge formed by the experts of a subject domain as set fuzzy predicative corrected of a kind:

P1: if x is A1, then y is B1,

P2: if x is A2, then y is B2,

... ..

Pn: if x is An, then y is Bn,

Let's result more detailed explanatory. The knowledge of the expert $A \rightarrow B$ reflects fuzzy causal the relation of the precondition and conclusion; therefore it is possible to name it as the fuzzy relation and to designate through R:

$$R = A \rightarrow B,$$

Where “ \rightarrow ” name by fuzzy implication. The relation R can be examined as an fuzzy subset of direct product $X*Y$ of complete set of the preconditions X and conclusions Y. Thus, the process of reception of fuzzy result B' of a conclusion with use of the given supervision A' and knowledge $A \rightarrow B$ can be presented as the formula:

$$B' = A' \circ R = A' \circ (A \rightarrow B),$$

Where “ \circ ” the entered above operation of convolution. Both it is possible to realize operation of a composition, and operation of implication in algebra of fuzzy sets differently (thus, naturally, will be differ and final received result), but in any case the common logic conclusion is carried out for the following four stages [6],[20].

- Illegibility (introduction of illegibility, fuzzication). The functions of an accessories determined on entrance variable are applied to their actual meanings to definition of a degree of the validity of each precondition of each rule.
- Logic conclusion. The calculated meaning of the validity is applied to the preconditions of each rule to the conclusions of each rule. It results in one fuzzy subset, which will be nominated of each variable conclusion for each rule. As rules of a logic conclusion the operations min (MINIMUM) or prod (MULTIPLICATION) are usually used only. In a logic conclusion of a MINIMUM the function of an accessory of a conclusion “is cut” on height appropriate calculated degree of the validity of the precondition of a rule

(fuzzy logic “And”). In logic conclusion of MULTIPLICATION the function of an accessory of a conclusion is scaled through the calculated degree of the validity of the precondition of a rule.

- Composition. All fuzzy subsets nominated to each variable conclusion (in all rules), are united together to form one fuzzy subset for each variable conclusion. At similar association the operations max (MAXIMUM) or sum (SUM) are usually used. At a composition of a MAXIMUM the combined conclusion of a fuzzy subset is designed as pointwise a maximum on all fuzzy subsets (fuzzy logic “OR”). At a composition of the SUM the combined conclusion of a fuzzy subset is designed as pointwise the sum on all fuzzy subsets nominated of a variable conclusion by rules of a logic conclusion.
- In summary (in addition) - reduction to clearness (defuzzication), which is used, when it is useful to transform an fuzzy set of conclusions to precise number. There is a plenty of methods of reduction to clearness, some of which are considered below.

Example: Let some system is described by the following fuzzy rules:

P1: if x is A, then ϖ is D,

P2: if y is B, then ϖ is E,

P3: if z is C, then ϖ is F,

Where x , y and z - names entrance variable, ϖ - name of a variable conclusion, and A, B, C, D, E, F - given functions of an accessory (triangular form).

The procedure of reception of a logic conclusion is illustrated a fig. 1.8.

It is supposed, that entrance variable have accepted some precise meanings - x_0 , y_0 and z_0 .

According to the given stages, at a stage 1 for the given meanings and proceeding from functions of an accessory A, B, C, there are degrees of the

validity $\alpha(x_0)$, $\alpha(y_0)$ and $\alpha(z_0)$ for the preconditions of each of three given rules (see fig. 1.8.).

At a stage 2 occurs “cutting off” of functions of an accessory of the conclusions of rules (that is D, E, F) at levels $\alpha(x_0)$, $\alpha(y_0)$ and $\alpha(z_0)$.

At a stage 3 the functions, truncated at the second stage, of an accessory are examined, and their association with use of operation max is made, therefore the combined fuzzy subsets described by function of an accessory $\mu_\varepsilon(\varpi)$ and appropriate to a logic conclusion for target turns out variable ϖ .

At last, on 4-th a stage - if necessary - there is a precise meaning of target variable, for example, with application centroid of a method: the precise meaning of target variable is determined as a centre of gravity for a curve $\mu_\varepsilon(\varpi)$, that is

$$\varpi_0 = \frac{\int_{\Omega} \varpi \mu_\varepsilon(\varpi) d\varpi}{\int_{\Omega} \mu_\varepsilon(\varpi) d\varpi} .$$

Let's consider the following most often used updatings of algorithm of a fuzzy conclusion, believing, for simplicity, that the base of knowledge is realized by two fuzzy corrected of a kind:

P1: if x is A1 and y is B1, then z is C1,

P2 If x is A2 and y is B2, then z is C2,

Where x and y - it is necessary to determine names entrance variable, z - name of a variable conclusion, A1, A2, B1, B2, C1, C2 - some given functions of an accessory, thus precise meaning z_0 on the basis of the given information and precise meanings x_0 and y_0 .

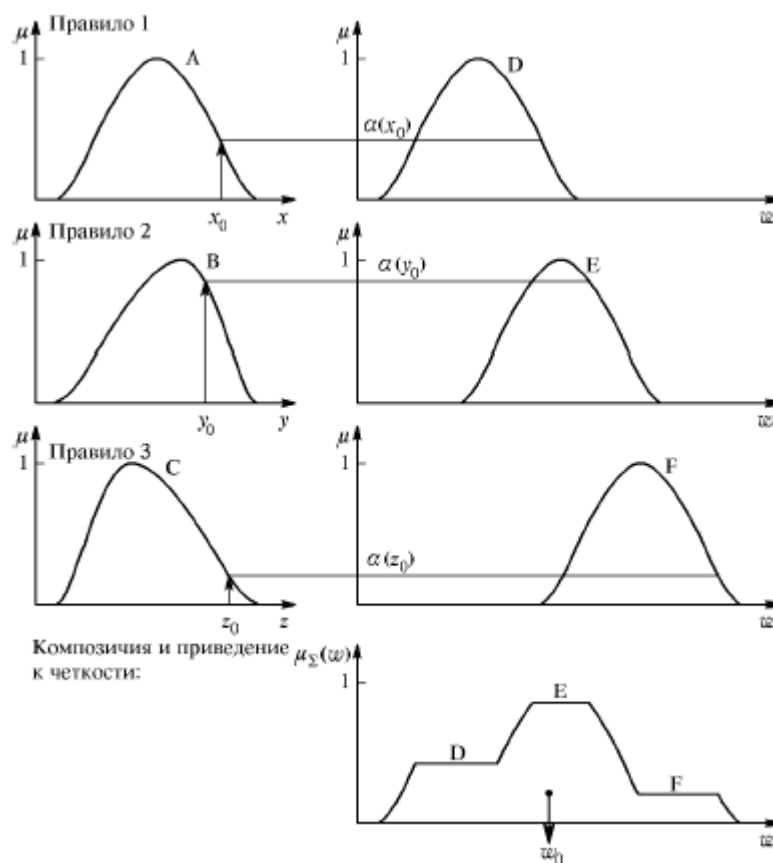


Fig. B.8 - Illustration to procedure of a logic conclusion

Algorithm Mamdani: the given algorithm meets to the considered example and fig. 1.8. In a examined situation he mathematically can be described as follows.

- Illegibility: there are degrees of the validity for the preconditions of each rule: $A_1(x_0)$, $A_2(x_0)$, $B_1(y_0)$, $B_2(y_0)$,
- Fuzzy conclusion: there are levels of “cutting off” for the preconditions of each of rules (with use of operation a MINIMUM)

$$\alpha_1 = A_1(x_0) \wedge B_1(y_0),$$

$$\alpha_2 = A_2(x_0) \wedge B_2(y_0),$$

Where through « \wedge » is designated operation of a logic minimum (min), then there are “truncated” functions of an accessory:

$$C'_1(z) = (\alpha_1 \wedge C_1(z)),$$

$$C'_2(z) = (\alpha_2 \wedge C_2(z)).$$

- Composition: with use of operation the MAXIMUM (max, further designated as « \vee ») is made association of the found truncated functions, that results in reception of a final fuzzy subset for a variable output with function of an accessory:

$$\mu_{\Sigma}(z) = C(z) = C'_1(z) \vee C'_2(z) = (\alpha_1 \wedge C_1(z)) \vee (\alpha_2 \wedge C_2(z)).$$

- At last, the reduction to clearness (for a presence z_0) is spent, for example, centroid by a method [6],[19].

Social responsibility

The purpose of the final degree work is the development, research and program implementation of two-channel adaptive pseudolinear correcting device of automatic control systems on the programmable logic controller (PLC) “Siemens Simatic S7-400”.

Development, research and implementation of corrective devices are performed with using a personal computer and PLC “Siemens Simatic S7-400”, in a closed room with artificial lighting. Thus, operations for minimizing the consequences of a proposed activity should include the drafting of operating schedule on a personal computer, organizing breaks and airings. In addition, there is a requirement of operations for ensuring electrical safety and protection from disasters.

1 Analysis of dangerous and harmful factors

1.1 Risk of electrocution

Electrical devices are potentially dangerous for operators because human senses cannot distantly detect the presence of a voltage on the equipment.

Danger of electric shock is increased or decreased depending on room conditions. Using a computer and PLC “Siemens Simatic S7-300” in high humidity conditions (relative humidity exceeds 75% for a long time), high temperature (35 ° C), the presence of conductive dust, conductive flooring and the simultaneous contact to the compound having to ground metal parts and metal casing of electrical equipment will cause high risks of an electric shock. Thus, working with a computer and PLC “Siemens Simatic S7-300” can be carried out only in areas without high risk.

The graduate student works with following electrical tools: computer (display, system unit, mouse and keyboard), PLC “Siemens Simatic S7-300” and printer. In this case there is a danger of electrocution:

- in direct contact with live parts during repair a PC or PLC “Siemens Simatic S7-300”;

- in case of touching the non-current-carrying parts, suddenly energized (in the case of breaking an insulation of current-carrying PC parts or parts of PLC “Siemens Simatic S7-300”);
- in contact with suddenly energized floor and walls;
- there is a risk of short circuits in high-voltage blocks such as the power supply unit.

All rooms, depending of the conditions, are divided into:

- particularly dangerous;
- with increased risk of electric shock;
- without increased risk of electric shock.

According to this classification, the audience number 113a-10 refers to rooms without high risk, meaning that there are no conditions that create increased danger.

The laboratory uses devices with voltage consumption of 220V AC 50Hz. This voltage is dangerous for life, so following precautions are important:

- exposed current-carrying parts of the switches and outlet will cause a shock hazard;
- obstructing the workplace with unnecessary things will complicate access to the equipment.

1.2. Electromagnetic radiation from the computer

Like any electrical devices, video displays and system units produce electromagnetic radiation. Major portion of it comes not from the monitor screen, but from the video cable and the system unit. In almost all of laptops electromagnetic radiation comes from the base unit, which is located under the keyboard. Modern computers are produced with a special metal protection inside the system unit to reduce the background electromagnetic radiation.

Safe levels of radiation are standardized by "Hygienic requirements for personal electronic computers and the organization of work" (SanPin

2.2.2/2.4.1340-03). The electromagnetic field strength at a distance of 50 cm from the display shall not exceed:

- In the frequency range of 5 Hz to 2 kHz - 25 V / m;
- In the frequency range of 2 kHz to 400 kHz - 2.5 V / m

Magnetic flux density should not exceed:

- In the frequency range of 5 Hz to 2 kHz ÷ - 250 nT;
- In the frequency range of 2 kHz ÷ 400 kHz - 25 nT.

Possible ways to protect against EMI:

The main way - increasing distance from the source: in order to avoid the effects of the video display screen should be located at a minimum distance of 50 cm from the user. Other way - application of display screen filters, special screens and other personal protection equipment that are tested in accredited laboratories and have a relevant hygiene certificate.

1.3. Ionizing radiation from computer display

Computer source of ionizing radiation is the display. Functions braking of blood-forming organs or normal blood clotting, increasing the blood vessels fragility and reducing the body's resistance to infectious diseases can occur in the body under the influence of ionizing radiation.

Permitted levels of electromagnetic field are standardized by State Standard specification 12.1.006-84 and SanPin 2.2.4.1191-03 in sphere of working with electrical and radiotechnical devices. Ways of collective and individual protection from ionizing radiation are required in case of noncompliance of working conditions with specified requirements.

The exposure dose of soft x-rays at any point in the distance of 0.05 m from the screen and the monitor casing (on the cathode-ray tube) in all positions of adjustment devices shall not exceed 1 mSv / h (100 mR / h). For displays responding the requirements of TSO-99, SOT-2000, TCO-03, these standards are met.

Methods of protection:

- application of display screen filters, special screens and other personal protection equipment that are tested in accredited laboratories and have a relevant hygiene certificate;
- Using standard monitors MPR II and TCO-03 with a reduced level of ionizing radiation;
- During the final degree work the LR-display (Low Radiation) was used. LR-display responds to the TCO-03 standard.

1.4. Noise

Noise is one of the most important parameters that inflicts damage to the health and dramatically reduces productivity.

Noise may be generated by operating equipment, air conditioning units, voltage converters, operating lighting equipment, as well as penetrating from outside.

A conclusion that noise and vibration worsen working conditions and have harmful effects on the human body was stated as a result of studies. Action of noise is different: it impedes intelligibility of speech, causes a decrease of a working efficiency, increases fatigue, and causes irreversible changes in the organs of the human ear. Noise not only affects hearing, but the entire body through the central nervous system. It causes relaxation of attention, deterioration of memory, reduces reaction and increases the number of errors at work.

Working areas, in which we are using the PC, should not border the working areas in which noise and vibration exceed specified values. According to State Standard specification 12.1.003-83 * "SSBT. Noise. General Safety Requirements" and SN 2.2.4/2.1.8.562-96 "Noise in the workplace, in residential and public building ", the noise level in the working areas should not exceed 50 dB.

Laboratory 113a-10 does not border with any working areas where equipment can be a source of noise. Noise source in the laboratory is computers.

Based on the above, and based on subjective feelings, we can conclude that the noise situation in the workplace is correct.

1.5. Weather conditions

Workplace air conditions (microclimate) are determined by the following parameters: temperature, relative humidity, air velocity. These parameters in combination and individually affect the human body, determining its health. Optimal and allowable values of indoor climate characteristics are determined in State Standard specification 12.1.005-88 and SanPin 2.2.4.584-96 "Hygienic requirements for the microclimate of industrial premises".

By the degree of severity of physical work software engineer work belongs to the category of light work. Microclimate parameters in the working areas are regulated by central heating system and forced ventilation, and have the following values: 40% humidity, air velocity of 0.1 m / s, and temperatures in the summer of 20..25 ° C, in winter 15..18 ° C.

Activities for improvement of air quality in the workplace include: proper organization of ventilation and air conditioning, space heating. Ventilation can be natural and mechanical. At working areas following amounts of outside air must be provided: at room with volume up to 20 m³ per person - not less than 30 m³ per hour per person; at room with volume more than 40 m³ per person and without harmful substances emission natural ventilation is permitted.

There is no forced ventilation in the laboratory. There is only natural ventilation: air enters and leaves through the slits, windows and doors. The main deficiency of this ventilation that air enters the room without purification and heating. Natural ventilation is permitted in case if volume of air in the room exceeds 40 m³per person. The presence of mechanical ventilation is essential because the laboratory is inadequate the requirement of the volume of air per person.

In winter, indoor heating system must be provided. It should provide adequate, continuous and uniform heating of the air. There is water heating with embedded heating elements and risers used in our laboratory.

1.6. Illumination

According to SNIP 23-05-95 "Natural and artificial lighting" and SanPin 2.2.1/2.1.1.1278-03 "Hygienic requirements for natural, artificial and combined lighting for domestic buildings and public buildings":

- Minimum illumination using PC: $E = 300$ lx.
- Illumination of desktop should be at least $300 \div 500$ lux, which can be achieved by setting local lighting.
- Local lighting should not create glare on the screen, glare brightness on the screen should not exceed 40 cd/m².

The existing artificial lighting satisfies SNIP 23-05-95 "Natural and artificial lighting" and SanPin 2.2.1/2.1.1.1278-03 "Hygienic requirements for natural, artificial and combined lighting or domestic buildings and public buildings".

1.7. Fire safety

Fire prevention

Actions for fire prevention are divided into organizational and technical.

Organizational activities include the proper use of equipment, proper maintenance of buildings and grounds, fire-prevention briefings for workers and employees, training of operating staff for fire safety rules, publication of instructions and posters, presence of an evacuation plan.

Technical activities include compliance with the fire safety regulations, standards in building design, in mounting of devices and wires, heating, ventilation and lighting systems, proper placement of equipment.

Evaluation of fire safety facilities

According to NPB 105-03 "Fire Safety Standards. Definition of categories of rooms and buildings for fire and explosion hazard", depending on the characteristics of substances and quantities which are used in the production, the fire and explosion hazard space is divided into categories A, B, C, D, E.

There are wooden tables and cabinets and 220V wiring in the laboratory audience 113a-10. Therefore a laboratory audience 113a-10 refers to category C. Category C is characterized by presence of solid combustible substances and materials.

Improper use of equipment and short-circuit of power grid could cause a fire that can destroy computers, documents and other equipment. The ventilation system can be a source of spreading of fire.

The operator room referring to degree level of inflammation is related to category C (rooms with solid combustible substances), therefore, it is necessary to provide a number of preventive actions.

There follows possible causes of fire:

- presence of combustible dust (some dust available to spontaneous combustion);
- short-circuit;
- dangerous networks overloading, which causes the strong heating of the current-carrying parts and insulation combustion;
- start-up of equipment after repairs.

Right choice, installation and compliance with the established mode of operation of electrical networks, displays and other electrical equipment automation are needed to prevent fires from short circuits and overloads.

Consequently, it is necessary to provide a series of preventive technical and operational actions.

Analysis of possible causes of combustion

- defects of current-carrying parts of plants;
- work with an open electric equipment;
- short-circuit in the power supply or high-voltage display sweep unit;
- non-compliance with fire safety regulations;
- presence of combustible components: documents, doors, tables, cable insulation, etc.

Actions for fire prevention and elimination

Following the next rules of fire safety reduces the risk of fire:

- excluding a formation of combustible environment (hermetic sealing of equipment, air composition controlling, providing required ventilation);
- using fireproof or nonflammable materials in the construction and decoration of buildings;

The following actions for fire prevention performing in the laboratory:

- arrangements relating to the technical process in case of the fire safety of the laboratory;
- operational actions, considering an operation of existing equipment;
- technical actions, related with proper placement and installation of an electrical equipment and heating appliances.

Organizational activities:

- fire-prevention briefings for staff;
- publication of manuals, posters, evacuation plans.

Operating activities:

- compliance with operational standards of the equipment;
- ensuring the free passage for access to the equipment;
- upkeep of an insulation of current-carrying conductors.

Technical measures:

- routine inspection, repair and testing the equipment.
- compliance with fire safety arrangements during the mounting electrical wiring, equipment, heating, ventilation and lighting. Laboratory 113a-10 has a dry powder extinguisher type OP-5, power switch which de-energizes the laboratory, an evacuation plan in case of fire, and a fire shield. For eliminating fire in electrical installation carbon dioxide fire extinguisher OU-2 type or powder type OP-5 are suitable.

By improving the quality control procedure, but to improve the accuracy in the standard mode, the change is understood the dynamic properties of the control system to obtain an adequate supply of stability and performance. In this issue of major importance is to ensure stock sustainability.

In solving the problem of increasing the stability margin of any control system, you need to try a rational way to change its parameters (coefficients of transmission of individual links, time constants, etc.) so as to meet the regulatory requirements of quality, defined quality criteria. If it is impossible to solve this problem within the framework of the existing system have to make a change (correction) of its structure. [1]

By correction of automatic control systems (ACS) refers to the change of their dynamic properties of (performance) in order to ensure the required stability margin, increase accuracy and dynamic indicators of the quality of the transition process. Correction is carried out by including in the system of additional elements - corrective devices [2], which should change the dynamics of the entire system in the right direction. By correcting devices include, in particular, the corrective units represent units with certain dynamic transfer functions. [1]

The main objective of corrective devices is to improve the accuracy of the system and quality of transients. However, along with this by introducing a corrective device can solve a more general problem - to make a sustainable system if it was without them unstable, and then to achieve the desired quality and the regulatory process. [3]

In cases where the corrective units is used for the control system stability or to enhance its stability margin, they are sometimes called damping or stabilizing links. Thus it is understood that the links dampen vibrations that occur in the control system. The term "corrective links" is broader and is used for links that are entered into the system to change the static and dynamic properties for various purposes. [1]

All corrective devices used in automatic control systems can be divided into linear and nonlinear.

Among the non-linear devices can be identified corrective class devices such equivalent amplitude and phase characteristics are not dependent on input signal amplitude and frequency are only functions. In these devices, there is no rigid connection between the amplitude and phase characteristics, as is the case for linear correction devices. On this basis, the non-linear correction device of this class can be regarded as the pseudo-correction device (PKU). The possibility of formation of the amplitude and phase characteristics of the pseudo-correcting devices independently opens up the possibility of changing the frequency characteristics of the ACS in the desired direction.

In solving the stabilization problem of closed control systems to create the necessary reserves of stability is required not only to avoid coverage of the critical point $(-1, j0)$ locus of amplitude-phase frequency response of open-loop system, but also to ensure its necessary distance from this point.

It can be argued that the most desirable corrective devices would have such frequency characteristics that have one of three types, presented in Figure 3.4, respectively, and providing suppression gain with increasing frequency without phase change (Figure 1.3 a); an increase in the phase advancing with increasing frequency without changing the gain (Figure 1.3, b); gain reduction, accompanied by an increase in the phase advancing with increasing frequency (Figure 3.4 in).

By including correcting device having any of the frequency characteristics, the relative stability of the automatic control system can be improved, ie increased reserves and the stability of the phase module.

Using correcting device in the control system with the frequency characteristic shown in Figure 3.4, but can change the amplitude characteristics, without affecting the phase.

In the case of the correction device with the characteristics shown in Figure 3.4, b, modified the phase characteristic of the system, the amplitude remains unchanged.

Adjusting device with amplitude attenuation (weakening)

Correcting the pseudo device that allows to receive the amplitude attenuation frequency increases without changing the phase (below characteristic 3.4.a) can be carried out according to the scheme shown in Figure 3.5.

Input branching passes through two channels. The upper branch of the device consists of a signature block, low pass filter, the capture module block. On the lower branch of the input signal must not change. The signal at the device output is obtained as the product of the output signals of the two branches, and defined by the equation.

sinusoidal signal acts on the filter inlet, as:

Moreover, the upper sign in these expressions is taken for positive half-wave of the input signal x . signals form a filter characteristic points is shown in Figure 3.6

The coefficients of harmonic linearization of the nonlinear filter are determined by the known formulas and in our case will be:

Moreover, α will be as follows:

The derived expressions indicate that harmonic linearization coefficients a and b depend only on the frequency, so the amplitude $q(\omega)$ and phase characteristics of $\mu(\omega)$ is also considered nonlinear filter depends only on the frequency and independent of the input signal amplitude, ie .:

Figure 3.7 The solid line shows the pseudo-logarithmic characteristics of this filter function of the reduced frequency $u = \omega T$.

If we neglect the influence of the higher harmonics meandering sign x (see. Figure 3.6), ie, assume the output sinusoidal signature block, then, we get the simplified formula for calculating a and b :

The logarithmic frequency characteristics of the filter [$g(\omega)$ and $\mu(\omega)$] are shown by dashed lines.

The circuitry of the pseudo correction can be used to increase the sustainability of stocks in automatic control systems, which can be applied

damping method known in linear systems as the damping of the suppression of the high frequencies.

Adjusting device with a phase advance

An example of the pseudo-correction circuit that allows them to advance the phase without changing the amplitude, may be the circuit shown in Figure 3.8.

Input branching also flows through two channels. The upper branch consists of a device selection module unit. The lower branch - of a linear filter and the signature block. The output signal is obtained as the product of a function module to sign the sign (x), which is the output of a linear filter that creates anticipation.

Note that for a fixed value of frequency ω of the input signal is a nonlinear filter may be replaced by non-linearity having a static profile for the type of advanced hysteresis loops, with the proviso that the linear filter WF at this frequency generates advance equal to α , the magnitude of which depends on the choice of parameters. These characteristics are shown in Figure 3.9.

and - during the phase preliminary heat up to 90° ; b - in a phase preliminary heat from 90° to 180°

View specifications in this figure confirms the independence of the coefficients a and b of harmonic linearization of a non-linearity of the input signal amplitude.

If the circuit uses a linear filter PF type, the lead created by it will be equal to:

Then a and b are coefficients will be calculated using the following formulas:

The pseudo-logarithmic frequency characteristics of the filter at a value of $k = 1$ are shown in Figure 3.10. They are built in a function of the reduced frequency $u = \omega T$ for a number of values of v .

Excluding created the pseudo attenuation filter, the maximum value of which does not exceed -4dB, we can assume that its frequency characteristics meet the requirements of the desired type (see. Figure 3.10, b), ie, provide a phase

advance with increasing frequency without changing the amplitude. The circuit may be used instead of a linear correction circuit in systems where damping is required to introduce phase advance.

Two-channel device corrective separate channels for the amplitude and phase

Driving the pseudo-correction, shown in Figure 3.11, provides a different amplitude and phase relationship, ie, to form relatively independent amplitude and phase characteristics. These characteristics do not depend on the input signal amplitude. Accordingly, by changing the parameters of linear filters included in the scheme, you can get the desired characteristics of any of the types shown in Figure 3.8. Therefore, the proposed scheme for the formation of corrective devices is universal. For the general case of a linear filter in a phase leg booster element, and the filter branches in amplitude - element creating amplitude attenuation and phase lag of [4].

The input signal is branched and flows through two channels. One of the channels (upper) is used for generating the amplitude characteristic is called amplitude, the second - channel phase forms a phase characteristic of the device.

Amplitude channel consists of a linear element with transfer function and the modular element (e.g., a full-wave rectifier). The amplitude response of a linear element determines the amplitude of the entire correction device. Modular element produces an output value proportional to the amplitude fluctuations at its input and prevents the passage of information about the phase of the input signal. The filter is used to isolate DC component of the rectified voltage.

In phase channel includes a linear element with transfer function and block signature (mark box). The phase characteristic of the linear element determines the phase response just correcting device. signature block eliminates the passage of information through a phase amplitude channel and is a relay device with the characteristic close to the ideal. If you change the sign of the signal at the input changes the output sign signature block, and its value can take only two fixed values ± 1 , regardless of the value of the input signal amplitude. The output value

correction unit is obtained by multiplying the output values of the amplitude and phase channels in the multiplication block.

The table in Figure 3.11 block diagram of the pseudo-correction device is quite common. Choosing linear elements with the appropriate transfer functions and can implement the pseudo-correcting device with the desired, independent of each other amplitude and phase frequency characteristics. [5]

waveforms at characteristic points of the circuit corresponds to the signals shown in Figure 3.13.

Once found the coefficients of harmonic linearization, nonlinear frequency response of the filter with separate channels for the amplitude and phase are calculated from the formulas already known:

The logarithmic characteristics, which express the dependence of q_1 and μ_1 on the reduced frequency of $u = \omega T$ for several values of γ and ν , are shown in Figure 3.14.

ПРИЛОЖЕНИЕ Б

Программно-методическое обеспечение для выполнения лабораторной работы «Изучение псевдолинейного нечеткого ПИД- регулятора»

Министерство образования и науки РФ
Федеральное государственное бюджетное образовательное
учреждение высшего профессионального образования
**«НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ
ТОМСКИЙ ПОЛИТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»**

Утверждаю
Заместитель директора по
учебной работе Института Кибернетики
_____ С.А. Гайворонский
«__» _____ 2016 г.

В.В. Очиров

Изучение псевдолинейного нечеткого ПИД- регулятора

Методические указания к выполнению лабораторной работы №__ по
курсу «Автоматизированные информационно - управляющие системы» для
студентов специальностей 210100 «Управление и информатика в технических
системах», 220400 «Программное обеспечение вычислительной техники и
автоматизированных систем»

Издательство
Томского политехнического университета
2016

УДК 681.325.5-181.48(076.5)

ББК 32.973.26-04я73

А446

Очиров В.В.

А446 Методические указания к выполнению лабораторной работы № ___ по курсу «Автоматизированные информационно- управляющие системы» для студентов специальностей 210100 «Управление и информатика в технических системах», 220400 «Программное обеспечение вычислительной техники и автоматизированных систем»

/В.В. Очиров. – Томск: Изд-во Томского политехнического университета, 2016. – 31 с.

УДК 681.325.5-181.48(076.5)

ББК 32.973.26-04я73

Методические указания рассмотрены и рекомендованы к изданию методическим семинаром кафедры автоматизации и компьютерных систем ИК «___» 2016 г.

Зав. кафедрой АиКС
доктор технических наук

_____ *А.С. Фадеев*

Председатель учебно-методической
комиссии

_____ *В.И. Рейзлин*

Рецензент

Доцент, кандидат технических наук

В.И. Коновалов

© Очиров В.В., 2016

© Томский политехнический университет, 2016

© Оформление. Издательство Томского
политехнического университета, 2016

Содержание

1 Цель работы	147
2 Нечеткие регуляторы.....	147
3 Нечеткие управляющие правила	151
4 Настройка нечеткого ПИД - регулятора.....	153
5 Структурная схема лабораторного стенда	154
6 Система команд.....	156
7 Программа реализации системы автоматического регулирования с нечетким регулятором на языке программирования STL в пакете STEP7	157
8 Задание	166
9 Контрольные вопросы	166
10 Требования к содержанию отчета	167

1 Цель работы

Целью работы является изучение нечеткого регулятора (НР) и создания программы работы системы автоматического управления с использованием данного НР на языке STL в программном пакете STEP7.

2 Нечеткие регуляторы

Представление *нечеткого множества* полагается на предположении, что каждый элемент лишь в некоторой уровни принадлежит этому множеству, поэтому одним из главных способов математического представления *нечеткого множества* это определением степени принадлежности некоторым числом из $[0,1]$. При этом границы интервала, то есть 1 и 0, означают, соответственно, “принадлежит” и “не принадлежит”.

Значительное усиление эффективности популярных линейных ПИД - регуляторов возможно за счет нечеткой формализации знаний об управлении объектом, реализованной в нечетких ПИД - регуляторах.

Нечеткая система управления содержит нечеткий регулятор, построенный на основе теории нечетких множеств, и объект управления. По отношению ко времени нечеткие системы управления и нечеткие регуляторы бывают непрерывными и дискретными. В данной работе рассматривается именно непрерывный вид нечеткого регулятора.

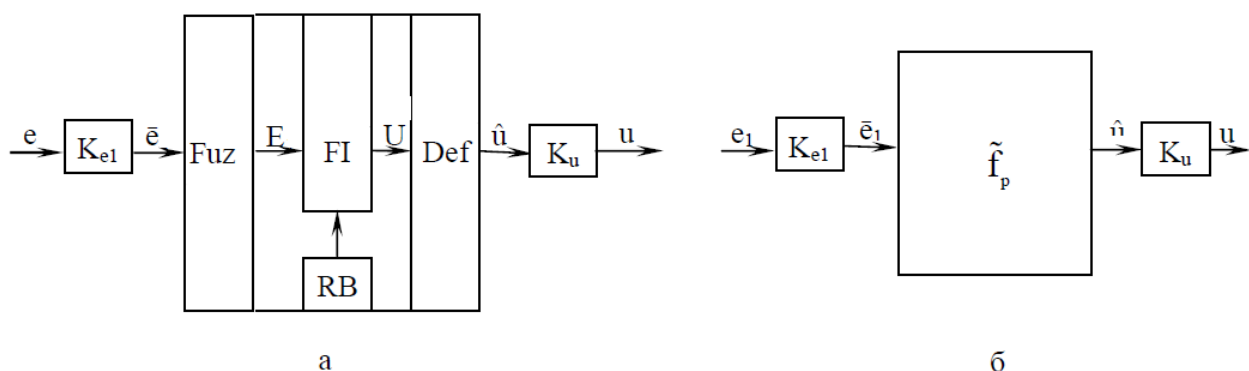


Рис. А.1 – Упрощенная (а) и операторная (б) схемы нечеткого регулятора с одним входом

На рис. А.1 изображена схема нечеткого регулятора, в котором имеются входная переменная e_1 и выходная переменная u , а также предусматривается выполнение следующих преобразований и операций. Действительные значения входа с помощью масштабируемого коэффициента K_{e1} преобразуется в масштабированное значение \hat{e}_1 , т.е. выполняется операция масштабирования:

$$\hat{e}_1 = K_{e1} e_1 \quad (\text{A.1})$$

На практике широко используется нормализованный интервал в виде $[0;1]$.

Операция фаззификации Fuz (*Fuzzification*) преобразует масштабированный вход \hat{e}_1 в нечеткий вход E_1 .

Нечеткий вывод FI (*Fuzzy Inference*) определяет нечеткий выход U на основании нечеткого ввода E_1 и базы правил RB (*Rule Base*).

Операция дефаззификации выхода Def (*Defuzzyfication*) преобразует нечеткий выход U в масштабированное значение \hat{u} , которое превращается в действительное u умножением на коэффициент K_u :

$$u = K_u \hat{u} \quad (\text{A.2})$$

Центральным элементом нечеткого регулятора является блок нечеткого оператора \tilde{f}_p , выполняющего последовательно операции фаззификации, нечеткого вывода и дефаззификации и содержащего базу правил. Таким образом, преобразование, осуществляемое нечетким оператором \tilde{f}_p , можно представить в следующем виде:

$$\tilde{f}_p : \langle \hat{e}_1 \rangle \xrightarrow{Fuz} \langle E_1, RB \rangle \xrightarrow{FI} \langle U \rangle \xrightarrow{Def} \langle \hat{u} \rangle \quad (\text{A.3})$$

Теперь рассматривается схема непрерывной системы управления, имеющей нечеткий регулятор (Р) с одним входом и тремя выходами, а также объект управления (ОУ), охваченную отрицательной обратной связью на рис. А.2.

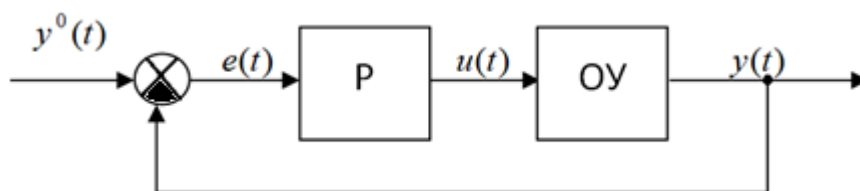


Рис. А.2 – Схема непрерывной системы управления

Входом $e(t)$ непрерывного регулятора P на рис. 2 является ошибка или отклонение $e(t) = y^0(t) - y(t)$ задания $y^0(t)$ от текущего выхода объекта $y(t)$, а выходом регулятора – управление $u(t)$. Для непрерывной системы управления преобразование (А.3), реализующий непрерывный нечеткий оператор, имеет вид:

$$\tilde{f}_p : \langle \hat{e}(t) \rangle \xrightarrow{Fuz} \langle E, RB \rangle \xrightarrow{FI} \langle U \rangle \xrightarrow{Def} \langle \hat{u}(t) \rangle, \quad (A.4)$$

где $\hat{e}(t) = K_e e(t)$ - нормализованная или масштабированная ошибка, коэффициент масштабирования можно дать в виде K .

Традиционные нечеткие регуляторы образованы одиночным или параллельным включением нечетких ПИД операторов $\tilde{f}_п$, $\tilde{f}_и$, $\tilde{f}_д$ или $\tilde{f}_{пи}$, $\tilde{f}_{пид}$. Здесь подстрочные индексы П, И, Д, ПИ, ПД, ПИД означают, что базы правил нечетких операторов реализуют соответствующие законы регулирования.

Традиционные нечеткие ПИД - регуляторы можно классифицировать по числу входов (один, два, три) и структуре управляющих правил, определяемой их правой частью (нечеткие множества или синглетоны).

Выражение традиционного ПИД - регулятора имеет вид:

$$u(t) = u_п(t) + u_и(t) + u_д(t) = K_п \left[e(t) + \frac{1}{T} \int_0^t e(\tau) d\tau + T_д \dot{e}(t) \right] = K_п e(t) + K_и \int_0^t e(\tau) d\tau + K_д \dot{e}(t)$$

Графическая иллюстрация которого приведена на рис. А.3:

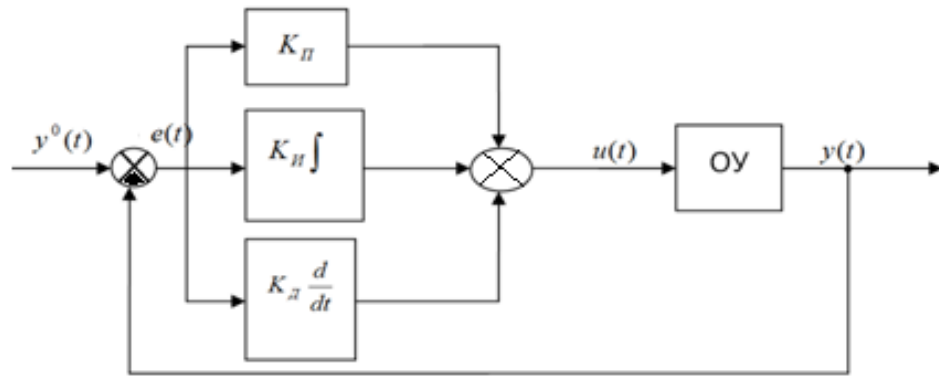


Рис. А.3 – Схема системы управления с ПИД - регулятором

Дальше необходимо рассмотреть структуру и схему нечеткого ПИД - регулятора. Структура нечеткого ПИД - регулятора приведена на рис. А.4. Вход регулятора e умножается на масштабируемый коэффициент K_e с получением нормализованного значения \hat{e} , которое обрабатывается с помощью нечеткого оператора \tilde{f}_α , $\alpha=(\text{ПИД})$.

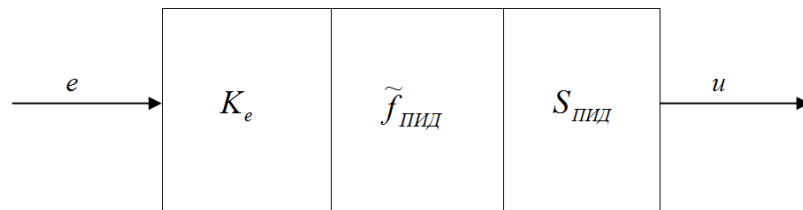


Рис. А.4 – Структура нечеткого ПИД – регулятора

Функцией типа $S_{\text{пид}}$ может быть одна или действующие последовательно несколько операций: временного сдвига, суммирования или умножения на постоянный коэффициент. Схема нечеткого ПИД - регулятора приведена на рис. А.5.

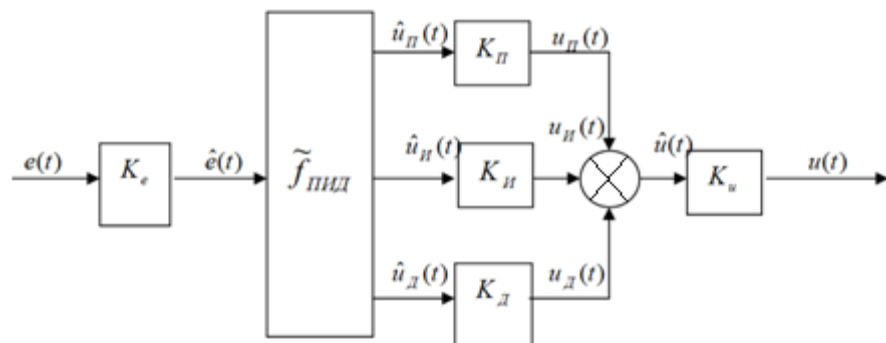


Рис. А.5 – Схема нечеткого ПИД - регулятора с одним входом и тремя выходами

Нечеткий ПИД оператор данного регулятора:

$$u_{\text{пид}}(t) = \tilde{f}_{\text{пид}}(\hat{e}(t)) \quad (\text{А.6})$$

с базой правил

$R_{\text{пид}}^{\theta} : \text{ЕСЛИ } \hat{e}(t) \text{ есть } E^{\theta}, \text{ ТО } \hat{u}_{\text{п}}(t) \text{ есть } U_{\text{п}}^{\theta}, \hat{u}_{\text{и}}(t) \text{ есть } U_{\text{и}}^{\theta}, \hat{u}_{\text{д}}(t) \text{ есть } U_{\text{д}}^{\theta}.$

где $E^{\theta}, U_{\text{п}}^{\theta}, U_{\text{и}}^{\theta}, U_{\text{д}}^{\theta}$ - нечеткие множества, характеризующие ошибку регулирования, пропорциональную, интегральную и дифференциальную составляющую ПИД - регулятора; $\theta = \bar{1}, \bar{q}$ - номер правила, $t \in [0; T]$.

В этом случае структура системы нечеткого управления объектом с нечетким регулятором принимает вид:

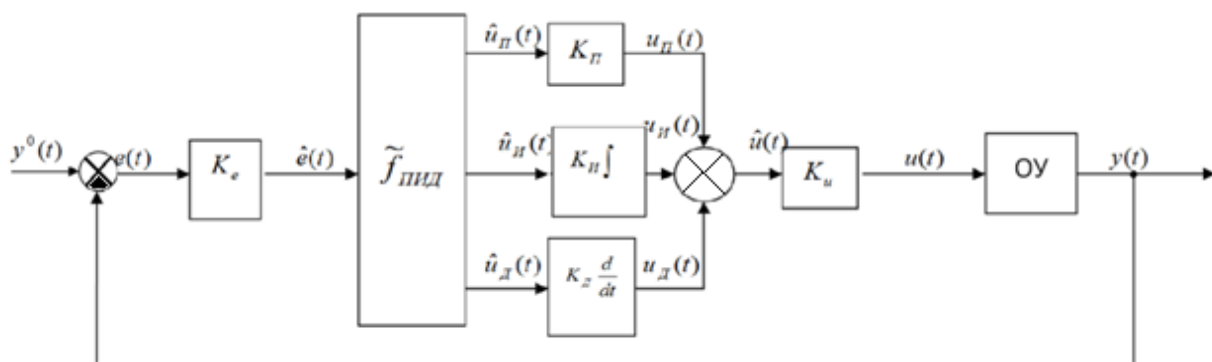


Рис. А.6 Структура нечеткого управления объектом с нечетким регулятором

где $e(t)$ – ошибка; $y^0(t)$ – задание; $y(t)$ – выходное значение.

3 Нечеткие управляющие правила

В общем виде нечеткие управляющие правила непрерывного нечеткого регулятора:

$R^\theta : \text{ЕСЛИ } \hat{e}(t) \text{ есть } E^\theta, \text{ ТО } \hat{u}(t) \text{ есть } U^\theta,$

(A.7)

где E^θ, U^θ , — нечеткие множества, характеризующие ошибку $\hat{e}(t)$ и управление $\hat{u}(t)$ на непрерывном интервале времени $t \in [0, T]$ и принадлежащие соответствующим терм - множествам $E^\theta \in T_e, U^\theta \in T_u$ с элементами — лингвистическими значениями, определенными ниже.

На практике для описания входной $\hat{e}(t)$ и выходной $\hat{u}(t)$ переменных часто используются терм-множества с двумя N, P , тремя N, P, Z (отрицательное N (*Negative*), положительное P (*Positive*), нулевое Z (*Zero*)); пятью NB, NS, ZE, PS, PB ; семью $NB, NM, NS, ZE, PS, NM, PB$ (отрицательное большое NB (*Negative Big*), отрицательное среднее NM (*Negative Medium*), отрицательное малое NS (*Negative Small*), нулевое ZE (*Zero*), положительное малое PS (*Positive Small*), положительное среднее PM (*Positive Medium*), положительное большое PB (*Positive Big*)) и девятью лингвистическими значениями, полученными из семи путем добавления следующих двух значений: очень близкое к нулю отрицательное NZ (*Negative Zero*) и положительное PZ (*Positive Zero*) или очень большое отрицательное NVB (*Negative Very Big*) и положительное PVB (*Positive Very Big*). Для нечеткого регулятора с m входами (каждый описан n_1, n_2, \dots и n_m нечеткими множествами) и одним выходом число нечетких правил q равно произведению $q = n_1 \cdot n_2 \cdot \dots \cdot n_m$. Довольно часто для описания нечетких множеств NB, NM, \dots, PB используются треугольные функции принадлежности для переменных $x = \hat{e}(t), \hat{u}(t)$. Диапазон входной переменной $x \in [x^{\min}, x^{\max}]$. a - расстояние между функциями принадлежности. В ряде случаев $x^{\min} = -3a, x^{\max} = 3a$ или $x^{\min} = -2a, x^{\max} = 2a$.

Кроме того, используются нечеткие регуляторы с переменными, которые описываются пятью (NB, NS, ZE, PS, PB) и тремя (N, Z, P) нечеткими множествами с функциями принадлежности, представленными

на рис. 1.3, б, в. Здесь нечеткие множества N, Z, P характеризуют отрицательное, нулевое и положительное значения переменных $\hat{e}(t), \hat{u}(t)$. Довольно часто для описания выходной переменной используются синглетоновые нечеткие множества.

В большинстве случаев используют три формата представления нечетких правил: обычный, реляционный и табличный.

Теперь необходимо определить понятия линейных и нелинейных нечетких управляющих правил для дискретного нечеткого регулятора. Пусть входные переменные \hat{e} и $\Delta\hat{e}$ описываются соответственно n нечеткими множествами $E_i, \Delta E_j, i, j = 1, n$. Тогда полную базу правил будут составлять n^2 нечетких управляющих правил вида:

$$\text{ЕСЛИ } \hat{e} \text{ есть } E_i \text{ И } \Delta\hat{e} \text{ есть } E_j \text{ ТО } \hat{u} \text{ есть } U_{g(i,j)}, \quad (8)$$

Необходимо определим терм-множество $T_e = \{E_{-p}, E_{-p+1}, \dots, E_0, \dots, E_{p-1}, E_p\}$ переменной \hat{e} и терм-множество $T_{\Delta e} = \{\Delta E_{-p}, \Delta E_{-p+1}, \dots, \Delta E_0, \dots, \Delta E_{p-1}, \Delta E_p\}$

переменной $\Delta\hat{e}$, $n = 2p + 1$. Необходимо определить линейную функцию $g = i + j$, заданную терм - множеством $T_u = \{U_{-2p}, U_{-2p+1}, \dots, U_0, \dots, U_{2p-1}, U_{2p}\}$ переменной u , $r = 4p + 1$. Общим свойством линейных и нелинейных управляющих правил является их симметричность относительно диагонали таблицы.

4 Настройка нечеткого ПИД - регулятора

Для синтеза и настройки нечетких регуляторов нет систематизированных методов, как метод Циглера - Никольса. При разных структурах нечетких регуляторов, для их синтеза используются известные методы, как эвристический подход, методы нечеткой линеаризации и фазовой плоскости, а также аналитические двухуровневый и

комбинационный методы. Первые три метода можно условно отнести к приближенным, а остальные — к точным.

К элементам нечетких ПИД - регуляторов, подлежащих настройке, относятся масштабирующие коэффициенты, а также параметры функций принадлежности. Методы настройки применяются к различным типам регуляторов П, ПИ, ПД и ПИД с числом входов от одного до трех. Следует отметить, что, предлагаемые методы настройки нечетких ПИД - регуляторов гораздо сложнее применяемых методов настройки линейных ПИД - регуляторов.

5 Структурная схема лабораторного стенда

Назначение данного лабораторного стенда – ввод аналогового сигнала, ввод/вывод дискретного сигнала, то есть реализация программно-логического управления САУ с дискретными сигналами и контроль за САУ с аналоговыми сигналами. На рисунке 7 представлена структурная схема лабораторного стенда, позволяющая исследовать контроллер SIMATIC S7-300.

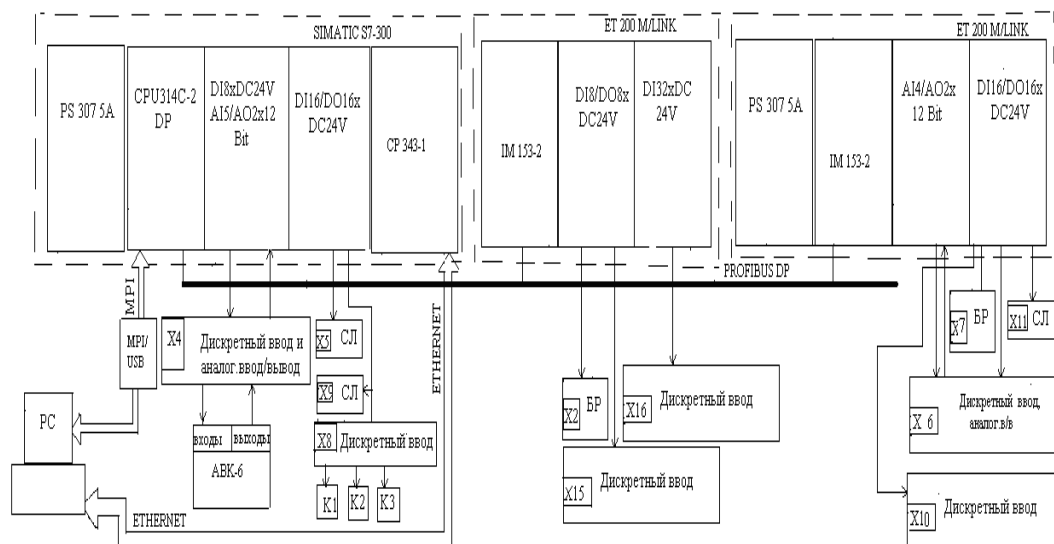


Рис. А.7 – Структурная схема лабораторного стенда

Контроллер SIMATIC S7–300 – это модульный программируемый контроллер для решения задач автоматизации среднего и низкого уровня.

Несколько типов центральных процессоров различной производительности и широкий спектр модулей различного назначения с множеством встроенных функций позволяют выполнять максимальную адаптацию оборудования к требованиям решаемой задачи. При модернизации и развитии производства контроллер может быть легко дополнен набором необходимых модулей. На рис. 1 приведена структурная схема лабораторного стенда, позволяющая исследовать контроллер SIMATIC S7-300. В данный лабораторный комплекс входят модули контроллера: блок питания PS 307 5A (307-1EA00-0AA0), центральный процессор CPU 314C – 2DP ()314-6CG03-0AB0 со встроенными модулями: дискретного ввода D18xDC24V и аналогового ввода/вывода AI5/AO2x12Bit, коммуникационный модуль CP343-1 для организации последовательной передачи данных по Ethernet интерфейсу, станции распределенного ввода ET200M/LINK (IM 153-2) с заказным номером 153-2BA02-0XB0, модули ввода-вывода дискретного сигнала DI 32xDC24V (321-1BL00-0AA0) и DI8/DO8xDC24V (323-1BH01-0AA0), модуль аналогового ввода/вывода AI4/AO2x12Bit (334-0KE00-0AB0), модуль дискретного ввода/вывода DI16/DO16xDC24V (323-1BL00-0AA0), а также 2 блока реле (X2, X7), АВК (аналогово-вычислительный комплекс) для создания математической модели САУ. Также на стенде присутствуют клеммные колодки для ввода/вывода аналоговых/дискретных сигналов. X4, X6, X8, X10, X15, X16 – обозначение клеммных колодок. Каналы модуля ввода аналогового сигнала поступают на клеммную колодку X4, где осуществляется ввод сигнала с АВК. Каналы модуля ввода дискретного сигнала поступают на колодки X15, X16, X8 и X10. На X8 осуществляется ввод дискретного сигнала при помощи кнопок. Каналы модуля вывода дискретного сигнала поступают на блоки реле X2 и X7, где осуществляется вывод дискретного сигнала при помощи сигнального табло. Тип клеммных соединений – “сухой контакт”.

6 Система команд

STEP7 оснащен исчерпывающим набором инструкций, позволяющим легко и просто решать любые задачи автоматического управления. Этот набор инструкций включает в свой состав:

- логические операции (включая обработку фронтов);
- операции со словами;
- операции с таймерами и счетчиками;
- операции сравнения;
- операции преобразования типов данных;
- операции сдвига и вращения;
- математические функции (включая тригонометрические и экспоненциальные);
- функции управления ходом выполнения программы.

Для облегчения программирования может быть использован целый ряд дополнительных сервисных функций:

- установка точек прерывания;
- управление состоянием входов и выходов;
- переключение режимов работы;
- отображение перекрестных ссылок;
- поддержка мультипроцессорных конфигураций.

Функции состояний:

- Загрузка и тестирование блоков непосредственно в редакторе;
- Одновременный контроль состояний нескольких блоков;
- Функции поиска.

Доступна интерактивная помощь по всем функциональным блокам (F1).

7 Программа реализации системы автоматического регулирования с нечетким регулятором на языке программирования STL в пакете STEP7

Для реализации представленной САР передаточная функция объекта управления моделируется на аналогово - вычислительном комплексе АВК - 6.

- Передаточная функция ОУ

$$W_o = \frac{K_o}{T_1 s + 1} \quad (9)$$

где $K_o = 1, T_1 = 15$.

- Передаточная функция регулятора:

$$W_p(s) = k_{PEГ} \cdot \left(k_{II} + \frac{1}{T_{II}s} + \frac{k_D T_D s}{T_D s + 1} \right), \quad (10)$$

где $k_{PEГ} = k_{II}$, $T_{II} = \frac{k_{PEГ}}{k_{II}}$, $T_D = \frac{k_D}{k_{PEГ}}$.

Сначала необходимо создать программу для работы системы нечеткого вывода для нечеткого регулятора в дополнительном пакете SIMATIC FuzzyControll++.

Сначала запускается программа, выполняется команда File>>New, задается количество входа и выходов, задается имя драйвера S7 - 4K для конфигурации этой программы и нажимается ОК (рис. А.8):

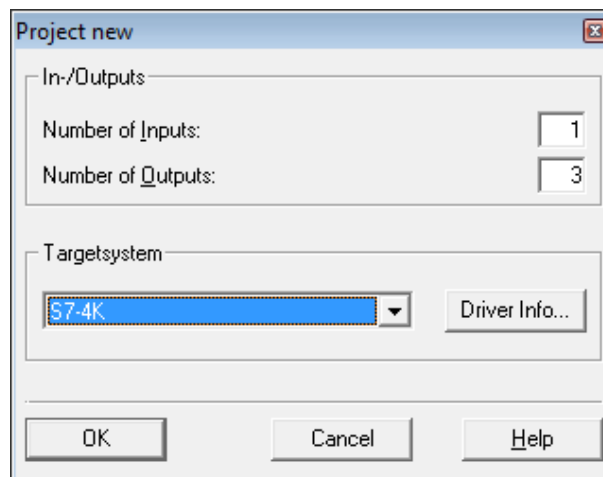


Рис. А.8 Вид окна для создания нового проекта

Задается имя для входа и выходов, как показано на рис. А.9:

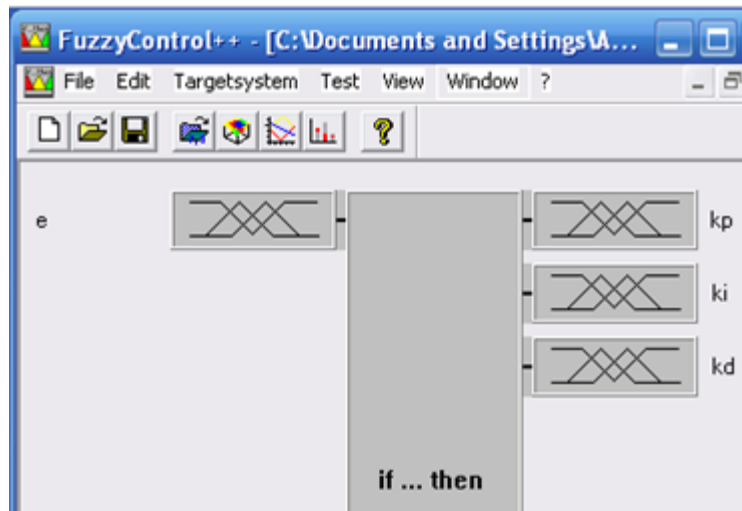


Рис. А.9 – Вид окна редактора систем нечеткого вывода

Для каждой входной и выходной переменной определяется функция принадлежности так, как показано на рис. А.10:

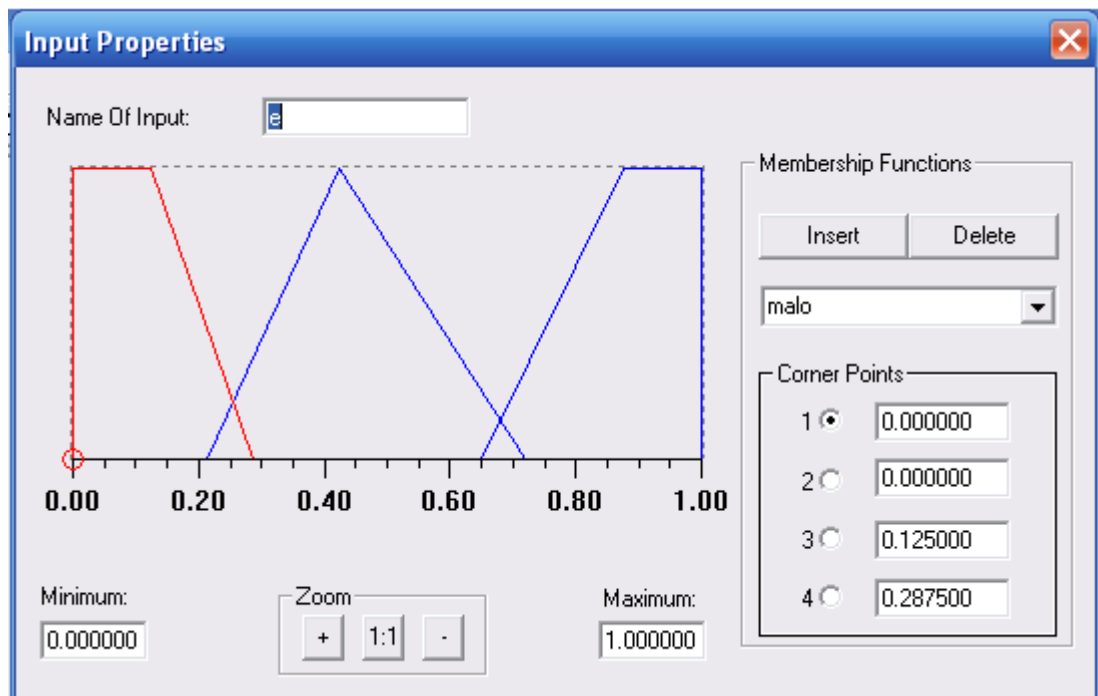


Рис. А.10 – Вид окна для редактирования функций принадлежности

Диапазон изменения переменных K_p , K_i , K_d : $K_p=[0;55]$, $K_i=[0;3.5]$, $K_d=[0;5]$.

Далее необходимо ввести базу правил для реализации нечеткого вывода нечеткого регулятора (рис.А.11).

	1	2	3
e	malo	mnogo	ochenmn
kp	malo	norm	mnogo
Ti	mnogo	norm	malo
Td	malo	norm	mnogo

Рис. А.11 – Вид окна редактирования базы правил для нечеткого вывода

Программа нечеткого вывода готова. Теперь, для конфигурации с программой SIMATIC используется MPI модуль. Открывается окно PG/PC Interface для выбора типа конфигурации программы FuzzyControll++ (рис А.12): SIEMENS>>SIMATIC NET>>PG/PC Interface. Для конфигурации выбирается компонент CP 5611 (MPI).

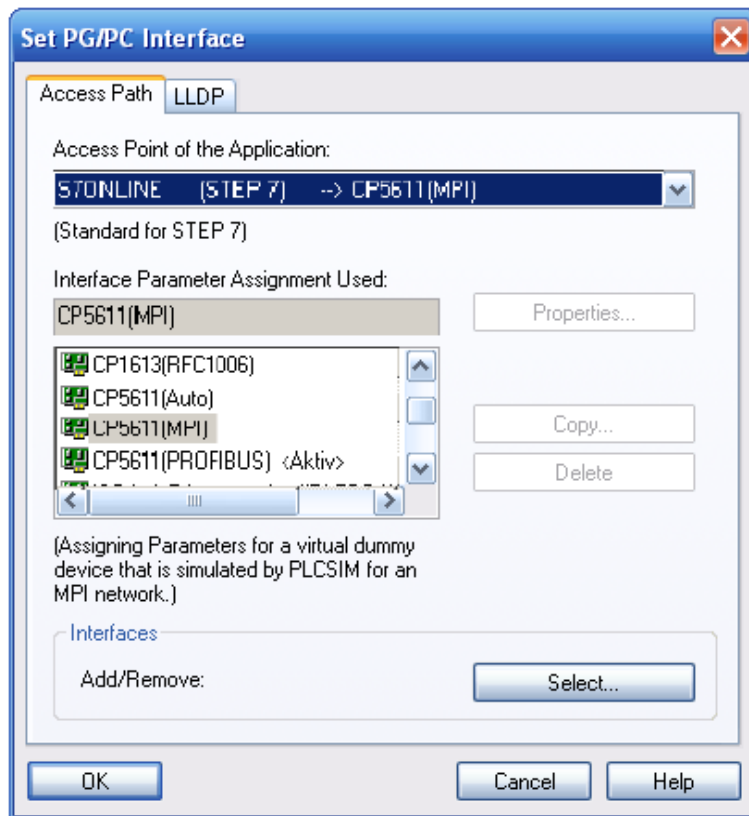


Рис.А.12 – Интерфейс для выбора MPI карты

Для конфигурации используются функциональные блоки S7-4K, S7-20K (рис. А.13). Для SIMATIC S7-300 применяется блок S7-4K, для SIMATIC S7-400 – S7-20K. Выбирается TargetSystem Manager, нажимается DLL Selection, после чего выбирается файл S7_Target_FZ.dll.

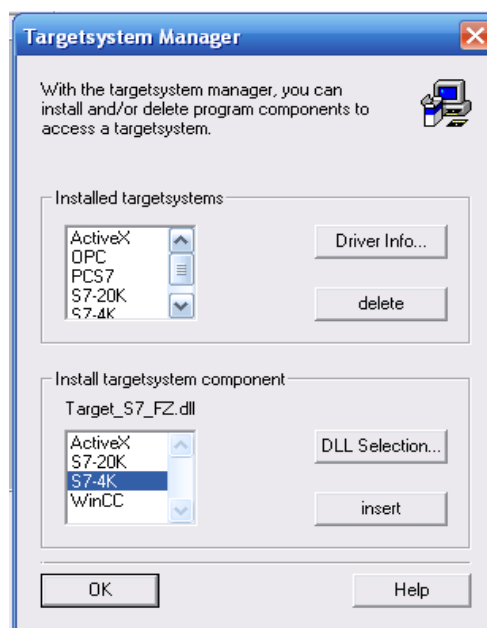


Рис. А.13 – Вид окна для выбора компонента для запуска таргет-системы

Открывается TargetSystem Selection, выбирается S7-4K для контроллера SIMATIC S7-300. В результате появится окно, которое имеет вид на рис А.14.

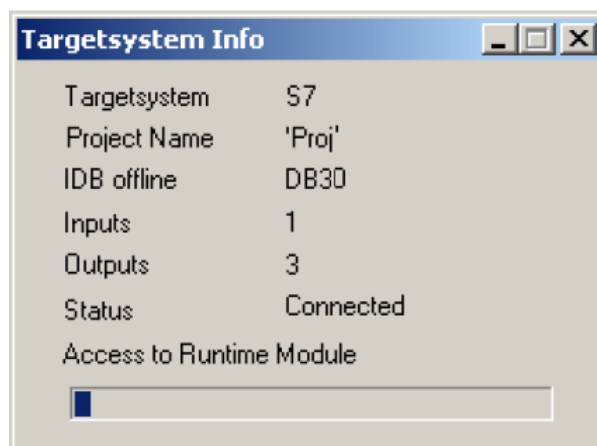


Рис. А.14 – Вид окна информации о таргет - системе

Далее открывается TargetSystem Connection, и выбирается файл S732.dll, который имеет вид на рис. А.15 и указывается тип соединения MPI, адреса слота и шины, номер блока данных.

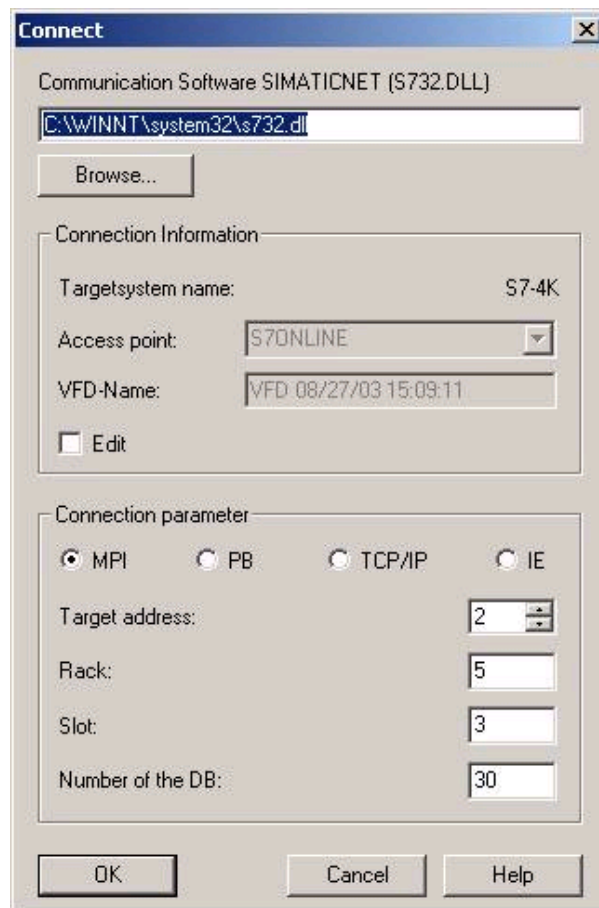


Рис.А.15 – Вид окна конфигурации программ STEP7 и FuzzyControll++ с помощью файла S732.dll

Теперь необходимо создать программу на языке STL в пакете STEP7 для реализации нечеткого управления. Для этого сначала вызывается функциональный блок под названием SCALE (FC105).

Данный сегмент обеспечивает нормирование аналогового сигнала.

Network 1 : Title:

Comment:

```
CALL "SCALE"  
  IN      := "Xizm"  
  HI_LIM := "H_an"  
  LO_LIM := "L_an"  
  BIPOLAR := "Polar"  
  RET_VAL := "retval"  
  OUT     := "Xizm_2"  
CALL "Izm_norm"  
  xfmax := "fmax"  
  xfmin := "fmin"  
  xizmax := "H_an"  
  xizmin := "L_an"  
  xiz    := "Xizm_2"  
  xf     := "Xf"
```

Рис А.16– Листинг программы функции считывания и нормирования сигнала

Далее необходимо вызвать функциональный блок FB30 из стандартной библиотеки `Fuzzy_library`. Значения переменных, которые поступают на вход блока FB30, передаются в блок данных.

Network 2 : Title:

Comment:

```
CALL "Fuzzy_Control4K" , "Fuzzy_Instance4K"  
  INPUT1 := "Xf"  
  INPUT2 :=  
  INPUT3 :=  
  INPUT4 :=  
  INPUT5 :=  
  INPUT6 :=  
  INPUT7 :=  
  INPUT8 :=  
  OUTPUT1 := "K"  
  OUTPUT2 := "KI_real"  
  OUTPUT3 := "KD_real"  
  OUTPUT4 :=  
  INFO    :=
```

Рис. А.17 – Листинг программы для работы функционального блока

Следующий сегмент обеспечивает преобразование значений параметров ПИД - регулятора типа TIME в сигнал типа REAL.

Network 3 : Title:

Comment:

```
L    "TI_real"  
RND  
T    "TI_t"  
  
L    "TD_real"  
RND  
T    "TD T"
```

Рис. А.18 – Листинг программы для преобразования типа REAL в TIME

Полученные значения параметров регулятора подаются из блока FB30 в функциональный блок ПИД - регулирования – FB 40 “CONT_C”.

Network 4 : Title:

Comment:

```
CALL "CONT_C" , DB1  
COM_RST := "PEREZAPUSK1"  
MAN_ON  := FALSE  
PVPER_ON:=  
P_SEL   := "VIB_P"  
I_SEL   := "VIB_I"  
INT_HOLD:=  
I_ITL_ON:=  
D_SEL   := "VIB_D"  
CYCLE   := "Tc"  
SP_INT  := "ZADANIE_X"  
PV_IN   := "Xf"  
PV_PER  :=  
MAN     :=  
GAIN    := "K"  
TI      := "TI_t"  
TD      := "TD_T"
```

```

TD      := "TD_T"
TM_LAG  := "Tc"
DEADB_W := 0.000000e+000
LMN_HLM := 1.000000e+000
LMN_LLM := 0.000000e+000
PV_FAC  := 1.000000e+000
PV_OFF  := 0.000000e+000
LMN_FAC :=
LMN_OFF :=
I_ITLVAL:=
DISV    := 0.000000e+000
LMN     := "VIH_REG_X"
LMN_PER :=
QLMN_HLM:= "VER_PRED_X"
QLMN_LLM:= "MIG_PRED_X"
LMN_P   := "P_SOST"
LMN_I   := "I_SOST"
LMN_D   := "D_SOST"
PV      :=
ER      := "ER T"

```

Рис А.19– Листинг программы для функционирования блока FB41

После регулирования выходной сигнал подается из блока ПИД - регулирования в блок “UNSCALE”. Блок “UNSCALE” преобразует входной сигнал в действительный сигнал.

Network 5 : Title:

Comment:

```

CALL  "UNSCALE"
IN    := "VIH_REG_X"
HI_LIM := "H_an"
LO_LIM := "L_an"
BIPOLAR:= "Polar"
RET_VAL:= "retval"
OUT   := "VIH_X"

```

Рис. А.20– Листинг программы для преобразования нормированного значения в действительное значение

Программная реализация САР с нечетким регулятором осуществляется согласно структурной схеме, представленной на рисунке А.21.

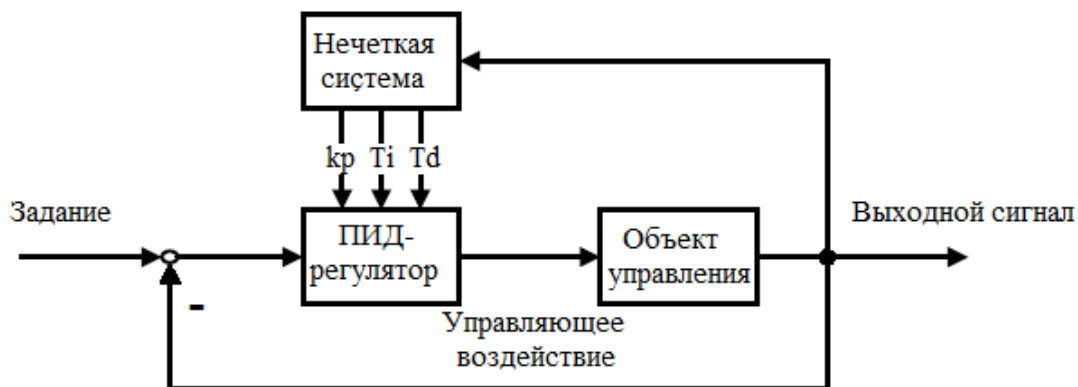


Рис. А.21 Структура САУ с нечетким регулятором

8 Задание

Заданием на выполнение лабораторной работы предусматривается следующая работа:

Реализация САУ с нечетким регулятором при ОУ второго порядка, который имеет вид

$$W_o = \frac{K_0}{T_1 s + T_2 s + 1} \quad (11)$$

где $K_0 = 1, T_1 = 15, T_2 = 1$. В программе FuzzyControll++ изменить диапазон параметров нечеткого регулятора: $e=[0;1]$, $K_p=[0;150]$, $K_i=[0;1.5]$, $K_d=[0;85]$.

9 Контрольные вопросы

- Приведите структуру и принцип работы нечеткого регулятора.
- Как выражаются нечеткие продукции базы правил нечеткого регулятора.
- Какие типы данных существуют?
- Для чего предназначена программа FuzzyControll++?
- Как выполняется конфигурация программы FuzzyControll++ с программой STEP7

- f. Как выполняется функционирование блоков FB30, DB30, FB41 и DB1?
Приведите пример функционирования этих блоков на языке STL.

10 Требования к содержанию отчета

Отчет должен содержать:

- 1) цель работы;
- 2) структурную схему лабораторного стенда;
- 3) задание;
- 4) листинг программы;
- 5) выводы по работе.

ПРИЛОЖЕНИЕ В

Программная реализация псевдолинейного нечеткого ПИД-регулятора

Программа псевдолинейного нечеткого ПИД - регулятора написана в среде STEP7 на языке STL. Данная программа состоит из 5 секций. В первой секции реализуется нормирование входных сигналов.

Листинг программы для первой секции приведен на рис. 5.10. Стандартный функциональный блок *SCALE* используется для масштабирования аналоговой величины. Входной параметр блока *SCALE* *IN(INT)* принимает входной аналоговый сигнал *Xizm* типа *INT* в пределах *HI_LIM* и *LO_LIM*. Нормализованный сигнал выходит из выходного параметра *OUT* блока *SCALE* в виде *Xizm_2*. Затем сигнал *Xizm_2* поступает на блок *FC1* под названием *Izm_norm*, где значение этого сигнала преобразуется на значение *Xf*.

Network 1: Title:

Comment:

```
CALL "SCALE"  
  IN      := "Xizm"  
  HI_LIM := "H_an"  
  LO_LIM := "L_an"  
  BIPOLAR := "Polar"  
  RET_VAL := "retval"  
  OUT     := "Xizm_2"  
CALL "Izm_norm"  
  xfmax := "fmax"  
  xfmin := "fmin"  
  xizmax := "H_an"  
  xizmin := "L_an"  
  xiz    := "Xizm_2"  
  xf     := "Xf"
```

Рисунок В.1 – Листинг программы функции считывания и нормирования сигнала

Листинг программы для второй секции приведен на рис. 6.11

Стандартный функциональный блок *FB30* под названием *FuzzyControll4K* принимает сигнал *Xf* (значение ошибки регулирования) и

соответственно передается на блок данных *DB30* под названием *FuzzyInstance4K*. Блок данных *DB30* передает это значение через инструмент конфигурации на систему нечеткого вывода, который построен на программе *FuzzyControll++*.

Network 2 : Title:

Comment:

```
CALL "Fuzzy_Control4K" , "Fuzzy_Instance4K"
INPUT1 := "xf"
INPUT2 :=
INPUT3 :=
INPUT4 :=
INPUT5 :=
INPUT6 :=
INPUT7 :=
INPUT8 :=
OUTPUT1 := "K"
OUTPUT2 := "KI_real"
OUTPUT3 := "KD_real"
OUTPUT4 :=
INFO :=
```

Рисунок В.2 – Листинг программы для функционального блока *FB30*, с помощью которого осуществляется ввод данных на *DB30* для реализации нечеткого управления

Листинг программы для третьей секции приведен на рис. 6.12.

Полученные значения параметров регулятора, коэффициенты T_i и T_d преобразуются от типа *REAL* на временной тип *TIME*.

Network 3 : Title:

Comment:

```
L    "TI_real"
RND
T    "TI_t"

L    "TD_real"
RND
T    "TD T"
```

Рисунок В.3 – Листинг программы преобразования типа значения *REAL* на *TIME*

Листинг программы для четвертой секции приведен на рис. 6.13.

Значения параметров регулятора, полученные от блока *FB30* поступают на функциональный блок ПИД - регулирования – *FB 41 (CONT_C)*.

Network 4 : Title:

Comment:

```

CALL "CONT_C" , DB1
COM_RST := "PEREZAPUSK1"
MAN_ON := FALSE
PVPER_ON:=
P_SEL := "VIB_P"
I_SEL := "VIB_I"
INT_HOLD:=
I_ITL_ON:=
D_SEL := "VIB_D"
CYCLE := "Tc"
SP_INT := "ZADANIE_X"
PV_IN := "Xf"
PV_PER :=
MAN :=
GAIN := "K"
TI := "TI_t"
TD := "TD_T"

TD := "TD_T"
TM_LAG := "Tc"
DEADB_W := 0.000000e+000
LMN_HLM := 1.000000e+000
LMN_LLM := 0.000000e+000
PV_FAC := 1.000000e+000
PV_OFF := 0.000000e+000
LMN_FAC :=
LMN_OFF :=
I_ITLVAL:=
DISV := 0.000000e+000
LMN := "VIH_REG_X"
LMN_PER :=
QLMN_HLM:= "VER_PRED_X"
QLMN_LLM:= "NIG_PRED_X"
LMN_P := "P_SOST"
LMN_I := "I_SOST"
LMN_D := "D_SOST"
PV :=
ER := "ER T"

```

Рисунок В.4 – Листинг программы блока *FB41* для реализации ПИД – регулирования

На рис. 6.13 приведены некоторые обозначения: *COM_RST* – перезапуск блока, *MAN_ON* – ручной режим запуска блока; *P_SEL* –

включить пропорциональную составляющую, *I_SEL* - включить интегральную составляющую, *D_SEL* - включить дифференциальную составляющую, *CYCLE* – время запуска программы, *SP_INT* - внутреннее задание,

PV_IN - входная переменная, *GAIN* - коэффициент пропорциональности, *TI* - время дифференцирования, *LMN_HLM* – верхний предел выходного сигнала, *LMN_LLM* - нижний предел выходного сигнала, *PV_FAC* - коэффициент для корректировки входной переменной (умножение), *DISV* - возмущающая переменная, *LMN* - выходное значение, *QLMN_HLM* - верхний предел выхода достигнут, *QLMN_LLM* - нижний предел выхода достигнут, *LMN_P* - пропорциональная составляющая, *LMN_I* - интегральная составляющая, *LMN_D* - дифференциальная составляющая, *ER* - сигнал рассогласования.

Листинг программы для пятой секции приведен на рис. 6.14.

После регулирования выходной сигнал ПИД - регулятора подается на блок “UNSCALE”, где нормализованное значение выходного сигнала обратно преобразуется на действительное значение.

Network 5 : Title:

Comment:

```
CALL "UNSCALE"  
IN      := "VIH_REG_X"  
HI_LIM := "H_an"  
LO_LIM := "L_an"  
BIPOLAR := "Polar"  
RET_VAL := "retval"  
OUT     := "VIH_X"
```

Рисунок В.5 – Листинг программы для преобразования фактического значения в реальное значение

Модуль FuzzyControll++ для системы программирования STEP7

Пакет FuzzyControll++ позволяет программировать системы нечеткой логики, построенные на базе систем автоматизации SIMATIC S7/C7/WinAC и SCADA системы SIMATIC WinCC.

Инструментальные средства конфигурирования имеют удобный интерфейс Windows и обеспечивают поддержку широкого спектра функций.

Настройка параметров. Настройка параметров Fuzzy системы выполняется выбором соответствующих позиций меню на основе правил “ЕСЛИ-ТО” и определением ряда числовых величин для сопоставления с текущими значениями входных и выходных сигналов. Правила отображаются в табличной или матричной форме. Функции тестирования и отладки Fuzzy систем могут использоваться как при наличии подключенной системы автоматизации, так и без нее.

- Нулевое правило и состояние системы. Значения выходных сигналов Fuzzy системы всегда определены, даже когда не активизировано ни одно из правил.
- Отладка без связи с системой автоматизации. FuzzyControll++ включает в свой состав генератор кривых, позволяющий имитировать изменение входных сигналов системы нечеткой логики и используемый для отладки системы.
- Трехмерное отображение характеристик системы нечеткой логики. Изменение выходного сигнала в функции от значений двух входных сигналов может быть отображено в виде трехмерной поверхности.

Пакет FuzzyControll++ может быть использован на всех уровнях автоматизации: от автономного контроллера до системы управления предприятием.

FuzzyControll++ может работать с ПИД регуляторами, что позволяет осуществлять оптимальное регулирование на основе использования преимуществ обеих систем. Пакет FuzzyControll++ включает в свой состав инструментальные средства конфигурирования и готовые к применению функциональные блоки, включаемые в программу пользователя. Эти блоки

могут быть использованы в программах систем автоматизации S7-300/ S7-400/ C7/ WinAC, а также в SCADA системе SIMATIC WinCC.

Блок данных DB устанавливает диспетчерский интерфейс между функциональным блоком, средством конфигурации и пользователем. При вызове FBs, для входов (INPUT1,...,INPUT8) определяются адреса. После этого, в FB обработанные величины на выполнение записываются из блока данных DB.

После нечеткого вывода с помощью функций принадлежности и базы правил выходные данные отправляются обратно в блок данных DB через инструмент конфигурации. Структура компонента приведена на рис. 6.2:

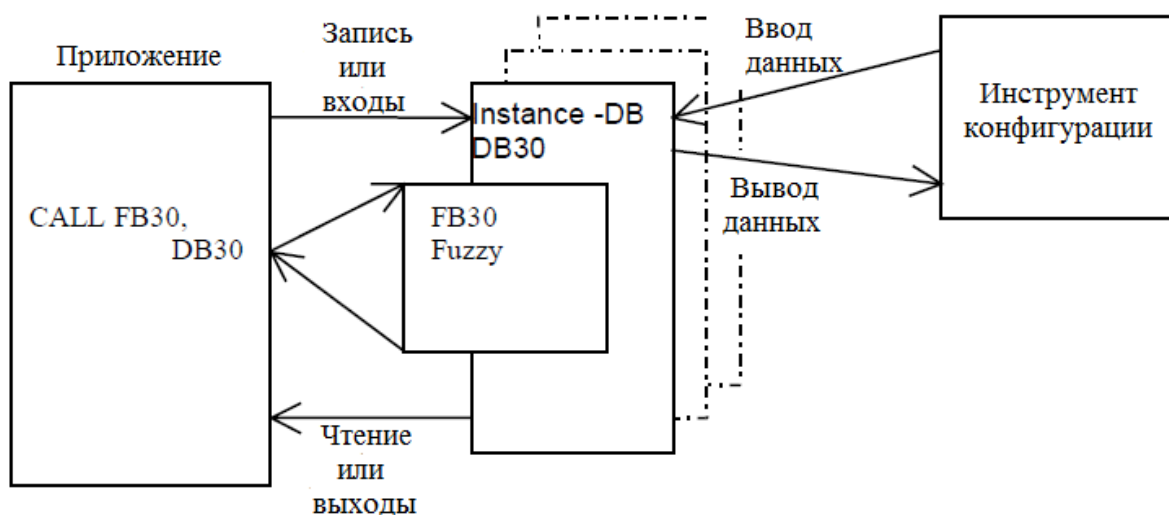


Рисунок В.6 – Структура выполнения передачи данных между программой FuzzyControll++ и STEP7

Структура функционирования и реализации программы FuzzyControll++, SIMATIC S7, SIMATIC CFC и SIMATIC WinCC и их конфигурации, драйвера запуска приведена на рис. 6.3.

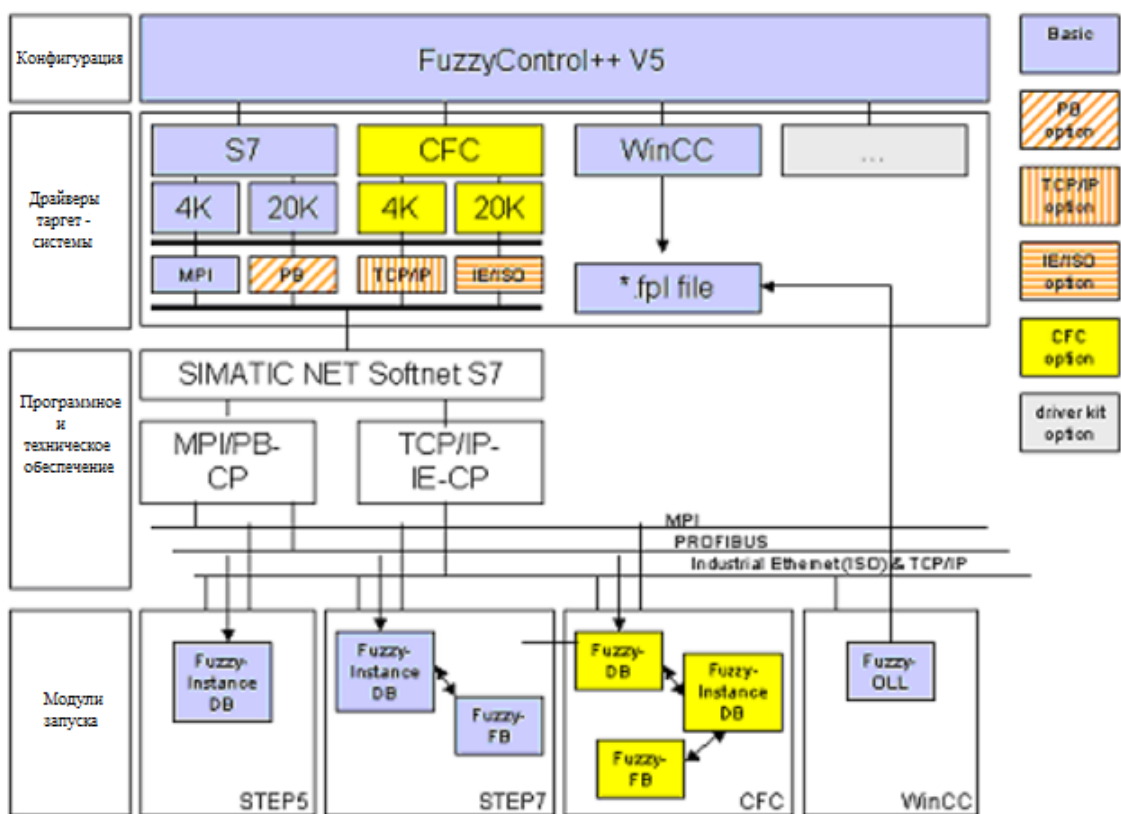


Рисунок В.7 – Иллюстрация связи компонентов программы для контроллера SIMATIC

Для конфигурации используются функциональные блоки S7-4K, S7-20K (рис. 6.5). Для SIMATIC S7-300 используется блок S7-4K, для SIMATIC S7-400 – S7-20K.

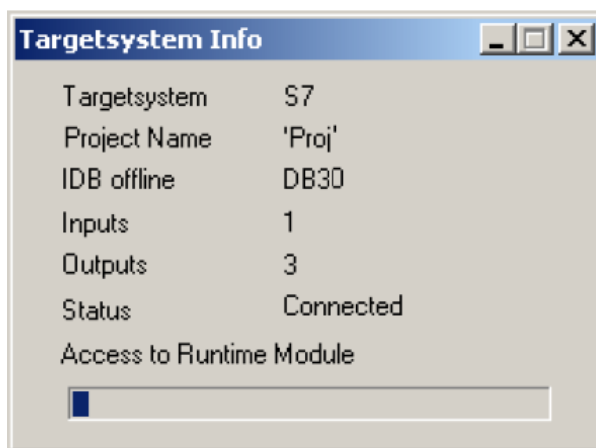


Рисунок В.8 – Вид окна Targetsystem Manager

Окно TargetSystem Info содержит информацию об имени проекта, блоке данных, количестве входов и выходов нечеткого вывода и состоянии связи.

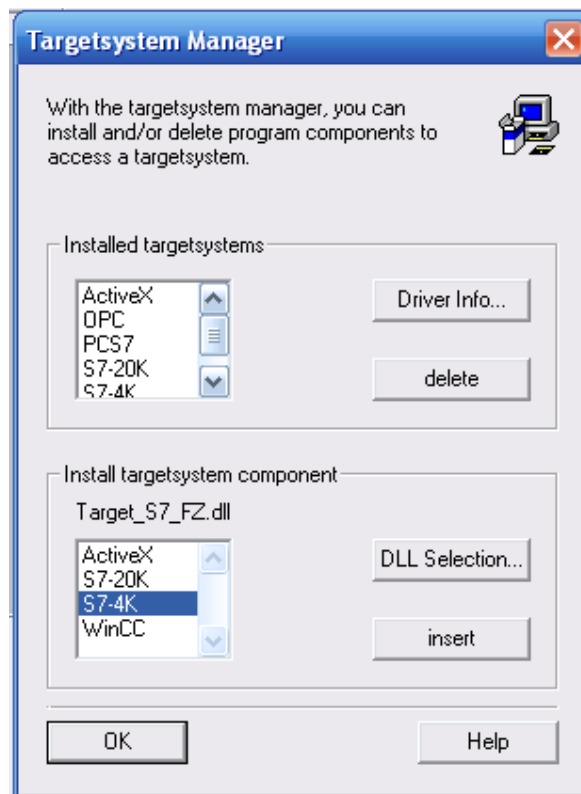


Рисунок В.9 – Вид окна TargetSystem Manager

Для связи с SIMATIC используется модуль MPI. Открывается окно PG/PC Interface для выбора типа конфигурации программы FuzzyControll++ (рис 6.6). Для конфигурации выбирается компонент CP 5611 (MPI).

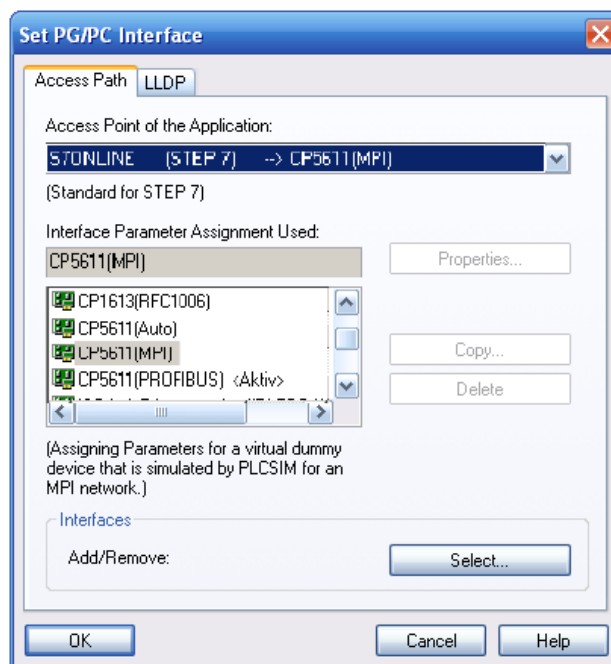


Рисунок В.10 – Вид окна PG/PC Interface

Также требуется инструмент конфигурации SIMATIC NET SOFTNET и S732.dll-файл, который устанавливается вместе с этим инструментом (рис. 6.7).

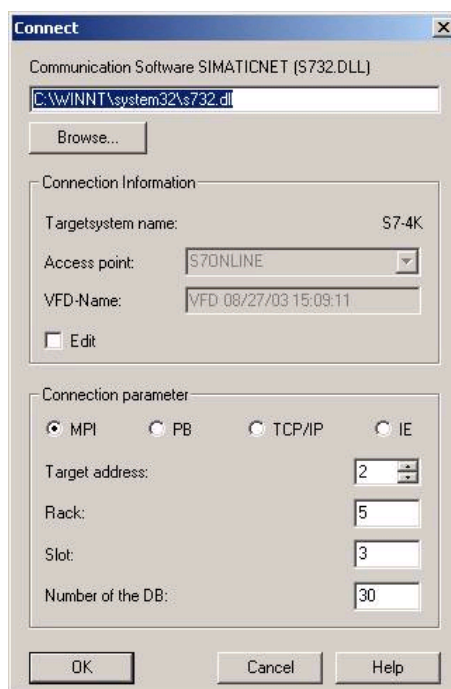


Рисунок В.11 – Вид окна Connect

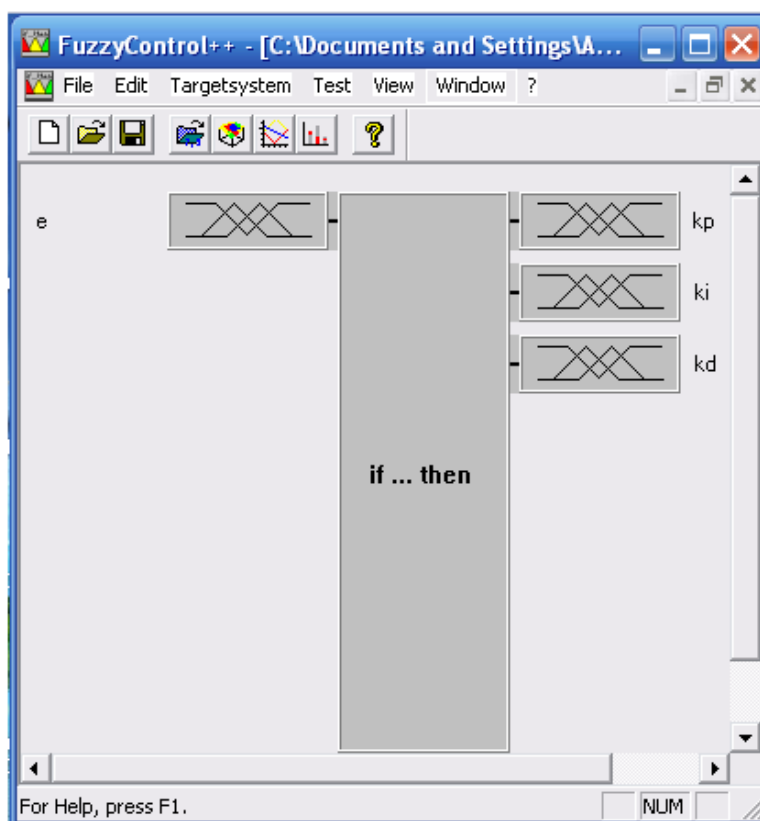


Рисунок В.12 – Вид главного окна редактора нечеткого вывода

FuzzyControll++

В программе FuzzyControll++ есть возможность ввода функций принадлежности для каждой переменной (рис. 5.9).

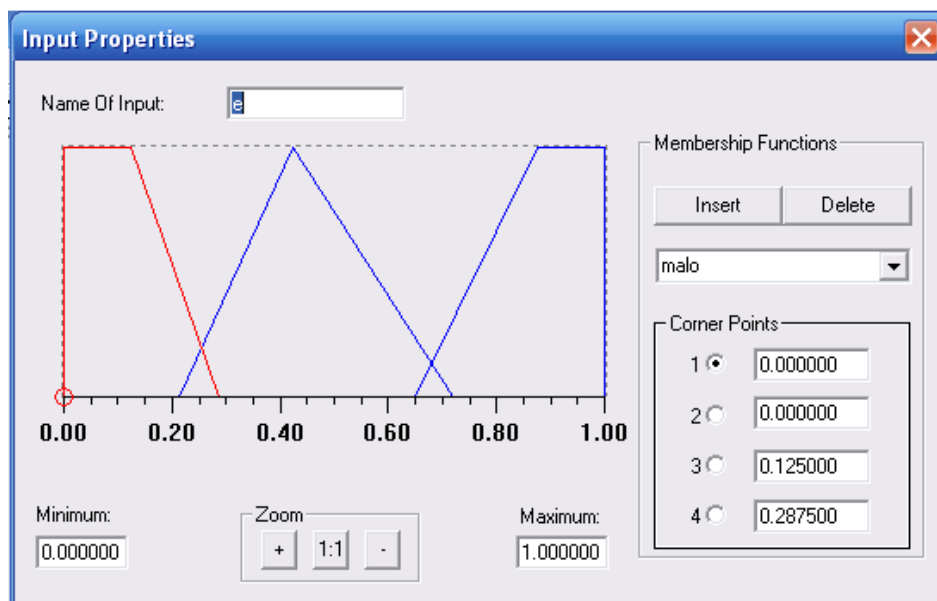


Рисунок В.13 – Вид окна редактирования функций принадлежности для переменной