

ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕ-
ЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
«КАМЧАТСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»
(ФГБОУ ВО «КамчатГТУ»)

Мореходный факультет

Кафедра «Энергетические установки и электрооборудование судов»

УТВЕРЖДАЮ
Декан МФ

 /С.Ю. Труднев/

«23» октября 2024 г.

РАБОЧАЯ ПРОГРАММА ДИСЦИПЛИНЫ

«Теория автоматического управления»

по направлению подготовки
13.03.02 «Энергетика и электротехника»
(уровень бакалавриат)

профиль: «Электрооборудование и автоматика судов»
квалификация: бакалавр

Петропавловск-Камчатский
2024

Рабочая программа дисциплины составлена на основании ФГОС ВО по специальности 13.03.02 «Энергетика и электротехника» (уровень бакалавриат), учебного плана подготовки специалистов, принятого на заседании ученого совета ФГБОУ ВО «КамчатГТУ» 02.10.2024 г., протокол № 2

Составитель рабочей программы

Доцент кафедры «ЭУЭС»



Толстова Л.А.

Рабочая программа рассмотрена на заседании кафедры «ЭУЭС»
«17» октября 2024 г, протокол № 4

Заведующий кафедрой «ЭУЭС» к.т.н., доцент

«23» октября 2024 г.



Белов О.А.

1. ЦЕЛЬ И ЗАДАЧИ УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЫ

Целью преподавания дисциплины «Теория автоматического управления» является подготовка квалифицированных инженеров по направлению подготовки 13.03.02 «Энергетика и электротехника».

Задачи изучения дисциплины заключаются в приобретении студентами теоретических знаний и практических навыков, необходимых для исследования систем автоматического регулирования с помощью компьютерных моделей и грамотной эксплуатации судовых систем автоматического регулирования и управления.

Предметом дисциплины является исследование элементов систем автоматического регулирования на примере исследования типовых динамических звеньев и типов регуляторов, приобретение навыков выполнения динамического расчета системы автоматического регулирования, нахождение основных характеристик САР и получение навыков настройки регуляторов САУ.

2. ТРЕБОВАНИЯ К РЕЗУЛЬТАТАМ ОСВОЕНИЯ ДИСЦИПЛИНЫ

В соответствии с требованиями федерального государственного образовательного стандарта высшего профессионального образования по направлению подготовки (специальности) 13.03.02 «Энергетика и электротехника» (квалификация (степень) «бакалавриат»), выпускник должен обладать следующими компетенциями (ПК):

ПК-2 Способен осуществлять безопасное техническое использование, техническое обслуживание, диагностирование судового электрооборудования, электроники и электротехнических средств автоматики на ходовом мостике, включая электрорадионавигационные системы, системы судовой связи, судового технологического и бытового оборудования.

ПК-3 Способен осуществлять безопасное техническое использование, техническое обслуживание и диагностирование судового электрооборудования, электроники и электротехнических средств автоматики палубных механизмов, тралового и грузоподъемного оборудования.

Планируемые результаты обучения при изучении дисциплины, соотнесенные с планируемыми результатами освоения образовательной программы, представлены в таблице.

Таблица - Планируемые результаты обучения при изучении дисциплины, соотнесенные с планируемыми результатами освоения образовательной программы:

Код компетенции	Наименование компетенции	Код и наименование индикатора достижения	Планируемый результат обучения по дисциплине	Код показателя освоения
ПК-2	Способен обосновывать планы и программы технического обслуживания и ремонта оборудования электрических сетей	ИД-1 _{ПК-2} . Знает устройство (конструкцию) электрооборудования и устройств автоматики	Знать: – современные методы диагностики и ремонта электрооборудования и систем автоматики.	З(ПК-2)1
		ИД-2 _{ПК-2} . Знает назначение и технические характеристики электрооборудования и устройств автоматики, электрорадионавигационных систем, судового технологического и бытового оборудования	Уметь: – проводить сбор и анализ данных о режимах работы судового электрооборудования.	У(ПК-2)1
		ИД-3 _{ПК-2} . Умеет анализировать параметры технического состояния	Владеть: – способностью к переоценке накопленного опыта, анализу своих возможностей, самообразо-	В(ПК-2)1

		<p>ния электрооборудования ИД-4_{ПК-2}. Умеет работать с технической документацией по эксплуатации электрооборудования и автоматики</p>	<p>ванию и постоянному совершенствованию в профессиональной, интеллектуальной, культурной и нравственной деятельности.</p>	
ПК-3	Способен планировать и вести деятельность по техническому обслуживанию и ремонту электрооборудования	<p>ИД-1_{ПК-3}. Знает устройство (конструкцию) электрооборудования и устройств автоматики ИД-2_{ПК-3}. Знает назначение и технические характеристики электрооборудования и устройств автоматики палубных механизмов, тралового и грузоподъемного оборудования ИД-3_{ПК-3}. Умеет анализировать параметры технического состояния электрооборудования ИД-4_{ПК-3}. Умеет работать с технической документацией по эксплуатации электрооборудования и автоматики</p>	<p>Знать: – принцип работы судового электрооборудования, автоматики и систем; – основные принципы и правила подготовки судовых электрооборудования, автоматики и систем к действию; – основные принципы диагностирования и алгоритмы поиска неисправностей судовых автоматизированных электроэнергетических систем</p>	<p>З(ПК-3)1 З(ПК-3)2 З(ПК-3)3</p>
			<p>Уметь: – читать электрические схемы; – находить неисправность в системе</p>	<p>У(ПК-3)1 У(ПК-3)2</p>
			<p>Владеть: – навыками эксплуатации судового электрооборудования, автоматики и систем; – основными положениями правил технической эксплуатации электрооборудования и систем автоматики</p>	<p>В(ПК-3)1 В(ПК-3)2</p>

3. МЕСТО ДИСЦИПЛИНЫ В СТРУКТУРЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЙ ПРОГРАММЫ

Учебная дисциплина «Теория автоматического управления» относится к части, формируемой участниками образовательных отношений в структуре основной профессиональной образовательной программы.

Связь с предшествующими и последующими дисциплинами

Данная дисциплина базируется на совокупности таких дисциплин, как «Высшая математика» (линейные дифференциальные уравнения, операционное счисление), «Физика», «Информационные технологии», «Теоретические основы электротехники».

Знания, умения и навыки, полученные студентами в ходе изучения дисциплины «ТАУ» должны служить базой при изучении дисциплин «Системы управления энергетиче-

скими и технологическими процессами», «Автоматизированный электропривод», «Судовые автоматизированные электроэнергетические системы», «Микропроцессорные системы управления».

4. СОДЕРЖАНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ

4.1 Тематический план дисциплины

Заочная форма обучения

Наименование разделов и тем	Всего часов	Аудиторные занятия	Контактная работа по видам учебных занятий			Самостоятельная работа	Формы текущего контроля	Итоговый кон-
			Лекции	Практические занятия	Лабораторные работы			
1	2	3	4	5	6	7	8	9
Раздел 1. Общие сведения о САР и САУ.								
Тема 1. Основные понятия теории автоматического управления (ТАУ).	17	2	2			15		
Тема 2. Принципы построения САР и САУ.	17	2	2			15		
Тема 3. Задачи автоматического управления. Законы управления.	16					16	Защита лабораторных и практических работ	
Тема 4. Классификация систем автоматического регулирования и управления.	16					16		
Тема 5. Режимы работы САР и САУ.	18	2	2			16		
Раздел 2. Основы теории линейных систем автоматического регулирования (САР).	16					16		
Тема 7. Типовые внешние воздействия в ТАУ.								
Тема 8. Типовые динамические звенья и их характеристики.	20	4		2		16		
Тема 9. Типовые регуляторы САР.	20	4	2		1	16		
Тема 10. Устойчивость линейных САР.	19	3	2	2		16		
Тема 11. Качество процессов регулирования и управления линейных САУ.	16	3	2	2	1	15		
Раздел 3. Нелинейные САУ.	15					15		
Раздел 4. Оптимальные и адаптивные САУ.	15					15		
Экзамен	9						опрос	
Всего	216	20	12	6	2	187		9

4.2. Содержание дисциплины по темам

Раздел 1. Общие сведения о САР и САУ.

Тема 1. Основные понятия теории автоматического управления (ТАУ).

Лекция 1. Рассматриваемые вопросы: Объект управления. Классификация объектов. Воздействия. Регулирование и управление. Общая характеристика элементов систем автоматического управления.

Тема 2. Принципы построения САР и САУ.

Лекция 2. Рассматриваемые вопросы: Принцип разомкнутого управления. Управление по возмущению. Управление по отклонению. Комбинированное управление. Структурные реализации принципов управления.

Практическое занятие 1. Основные понятия ТАУ. Динамический расчет САР (САУ) [7, практическое занятие 1]

Лабораторное занятие 1. Знакомство с программой CLASSIC для анализа и синтеза систем

управления [6, лабораторное занятие 1]

Тема 3. Задачи автоматического управления. Законы управления.

Лекция 3. Рассматриваемые вопросы: Структурные схемы основных САР и решаемые с помощью них задачи. Основные законы управления: пропорциональный; дифференциальный; интегральный; пропорционально-интегральный; пропорционально-интегрально-дифференциальный.

Тема 4. Классификация систем автоматического регулирования и управления.

Лекция 4. Рассматриваемые вопросы: Классификация САУ по принципу регулирования. Классификация САУ по закону воспроизведения задающего воздействия. Классификация САУ по характеру формирования регулирующего воздействия. Принципиальная, функциональная, структурная схемы САУ.

Тема 5. Режимы работы САР и САУ.

Лекция 5. Статический режим работы линейных судовых автоматических систем регулирования.

Рассматриваемые вопросы: Статическая система, примеры. Астатическая система, примеры. Уравнения статики САР и САУ.

Лекция 6. Динамический режим работы линейных судовых автоматических систем регулирования. Рассматриваемые вопросы: Динамический режим работы, определение. Динамические характеристики САР и САУ. Уравнения динамики САР и САУ.

Основные понятия: Основные понятия теории автоматического управления. Принципы построения САР и САУ. Структурные схемы основных САР и решаемые с помощью них задачи. Основные законы управления. Классификация САУ по принципу регулирования. Статический режим работы линейных судовых автоматических систем регулирования. Динамический режим работы линейных судовых автоматических систем регулирования.

Вопросы для самоконтроля:

1. Объект регулирования и его характеристики.
2. Принципы построения САР и САУ.
3. Задачи автоматического управления.
4. Законы управления.
5. Проведите классификация САУ по принципу регулирования.
6. Перечислите режимы работы САР и САУ и дайте их характеристику.

Литература [1,2,3,4,6,7]

Раздел 2. Основы теории линейных систем автоматического регулирования (САР).

Тема 7. Типовые внешние воздействия в ТАУ.

Лекция 7. Рассматриваемые вопросы: Единичное воздействие. Ступенчатое воздействие. Импульсное воздействие. Гармоническое воздействие. Линейное воздействие.

Тема 8. Типовые динамические звенья и их характеристики.

Лекция 8. Математическое описание САР. Понятие передаточной функции САР. Рассматриваемые вопросы: Математическое описание САР с помощью систем дифференциальных уравнений. Понятие передаточной функции САР. Преимущества описания САР с помощью передаточной функции.

Практическое занятие 2. Типовые динамические звенья. [7, практическое занятие 2, задание 2.1]

Практическое занятие 3. Типовые динамические звенья. [7, практическое занятие 2, задание 2.2]

Практическое занятие 4. Типовые динамические звенья. [7, практическое занятие 2, задание 2.3]

Лабораторное занятие 2. Исследование характеристик типовых динамических звеньев систем автоматического регулирования. Исследование усилительного звена. [6, с. 16-35. задание 2.1]

Лабораторное занятие 3. Исследование характеристик типовых динамических звеньев систем автоматического регулирования. Исследование интегрального звена. [6, с. 16-35. задание 2.2]

Лабораторное занятие 4. Исследование характеристик типовых динамических звеньев систем автоматического регулирования. Исследование дифференциального звена. [6, с. 16-35. задание 2.3]

Лабораторное занятие 5. Исследование характеристик типовых динамических звеньев систем автоматического регулирования. Исследование аperiodического звена 1 порядка. [6, с. 16-35, задание 2.4]

Лабораторное занятие 6. Исследование характеристик типовых динамических звеньев систем автоматического регулирования. Исследование колебательного звена. [6, с. 16-35, задание 2.5]

Лабораторное занятие 7. Исследование характеристик типовых динамических звеньев систем автоматического регулирования. Построение сводной таблицы поведения типовых динамических звеньев. [6, с. 16-35, задание 2.6]

Практическое занятие 5. Основные типы соединений динамических звеньев в системах автоматического управления [7, практическое занятие 3, с.18-20]

Практическое занятие 6. Основные правила эквивалентного преобразования структурных схем. [7, практическое занятие 3, с.20-22]

Лабораторная работа 8. Исследование основных типов соединений динамических звеньев в системах автоматического управления. Последовательное и параллельное соединение звеньев

[6, с. 36-41, задания 3.1,3.2]

Лабораторная работа 9. Исследование основных типов соединений динамических звеньев в системах автоматического управления. Соединение звеньев с обратной связью. [6, с. 36-41, задания 3.3,3.4]

Тема 9. Типовые регуляторы САР.

Лекция 9. Рассматриваемые вопросы: Пропорциональные и интегральные регуляторы судовой автоматики и их реализация. Пропорционально-интегральные и пропорционально-интегрально-дифференциальные регуляторы судовой автоматики и их реализация.

Лабораторная работа 10. Исследование системы автоматического регулирования с типовыми регуляторами. [6, с. 37-42, лабораторное занятие 4]

Тема 10. Устойчивость линейных САР.

Лекция 10. Анализ устойчивости линейных САР. Рассматриваемые вопросы: В чем заключается анализ устойчивости САР. Необходимые и достаточные условия устойчивости. Классификация критериев устойчивости.

Лекция 11. Запас устойчивости линейной САР. Рассматриваемые вопросы: Понятия о запасах устойчивости. Запас устойчивости по модулю. Запас устойчивости по фазе.

Практическое занятие 7. Частотные характеристики САР и САУ. [7, практическое занятие 4]

Практическое занятие 8. Анализ устойчивости линейных САР и САУ. [7, практическое занятие 5]

Тема 11. Качество процессов регулирования и управления линейных САУ.

Лекция 12. Качество процессов регулирования линейных САУ. Рассматриваемые вопросы: Основные показатели качества. Прямые показатели качества САУ. Косвенные показатели качества САУ.

Лекция 13. Понятие о коррекции линейных САР и САУ. Рассматриваемые вопросы: Задачи, решаемые при синтезе и коррекции САР. Методы синтеза. Способы включения корректирующих звеньев.

Практическое занятие 9. Анализ качества процесса управления линейных САР и САУ. [7, практическое занятие 6]

Практическое занятие 10. Улучшение качества процесса управления линейных САР и САУ.

[7, практическое занятие 7]

Основные понятия: Типовые внешние воздействия в ТАУ. Типовые динамические звенья и их характеристики. Математическое описание САР. Основные правила эквивалентного преобразования структурных схем. Устойчивость линейных САР. Качество процессов регулирования и управления линейных САУ.

Вопросы для самоконтроля:

1. Перечислите типовые внешние воздействия в ТАУ.
2. Опишите типовые динамические звенья и их характеристики.
3. Проанализируйте результаты исследования основных типовых динамических звеньев.
4. Перечислите основные типы соединений динамических звеньев в системах автоматического управления и проанализируйте результаты их исследования.
5. В чем заключается устойчивость САР.
6. Перечислите критерии устойчивости САР и проанализируйте полученные вами результаты исследования устойчивости САР по варианту курсовой работы.
7. Качество процессов регулирования и управления линейных САУ.
8. Проанализируйте полученные вами результаты по качеству процесса регулирования САР согласно варианту курсовой работы.
9. Предложите способы улучшения качества процесса регулирования САР согласно варианту курсовой работы.

Литература [1,2,3,4,5,6,7]

Раздел 3. Нелинейные САУ.

Лекция 14. Рассматриваемые вопросы: Задачи теории нелинейных систем. Особенности НС. Типовые нелинейные звенья с однозначными характеристиками.

Основные понятия: Общие понятия о нелинейных САУ. Задачи теории нелинейных систем. Особенности НС. Типовые нелинейные звенья с однозначными характеристиками.

Вопросы для самоконтроля:

1. Дайте определение нелинейной САУ.
2. Перечислите задачи теории нелинейных систем.
3. Перечислите особенности нелинейных систем.
4. Перечислите типовые нелинейные звенья с однозначными характеристиками и дайте их характеристики.

Литература [1,2,3]

Раздел 4. Оптимальные и адаптивные САУ.

Лекция 15. Рассматриваемые вопросы: Основные понятия об оптимальных и адаптивных САУ.

Особенности оптимальных и адаптивных САУ. Задачи теории оптимальных и адаптивных САУ.

Основные понятия: Характеристика оптимальных и адаптивных САУ. Особенности оптимальных и адаптивных САУ. Задачи теории оптимальных и адаптивных САУ.

Вопросы для самоконтроля:

1. Дайте определение оптимальных и адаптивных САУ.
2. Перечислите задачи теории оптимальных и адаптивных САУ.
3. Перечислите особенности оптимальных и адаптивных САУ.

Литература [1,2,3]

5. УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ САМОСТОЯТЕЛЬНОЙ РАБОТЫ ОБУЧАЮЩИХСЯ

5.1 Внеаудиторная самостоятельная работа студентов

Самостоятельная работа студентов (СРС) по дисциплине «Теория автоматического управления» является важной составляющей частью подготовки студентов

Самостоятельная работа предназначена для развития навыков самостоятельного поиска необходимой информации по заданным вопросам или поставленной проблеме (теме).

В целом внеаудиторная самостоятельная работа студента при изучении дисциплины включает в себя следующие виды работ:

- проработка (изучение) материалов лекций;
- чтение и проработка рекомендованной основной и дополнительной литературы;
- подготовка к практическим занятиям;
- поиск и проработка материалов из Интернет-ресурсов, периодической печати;
- подготовка презентаций для иллюстрации материалов на заданную тему;
- подготовка к текущему и итоговому (промежуточная аттестация) контролю знаний по дисциплине (экзамен).

Основная доля самостоятельной работы студентов приходится на проработку рекомендованной литературы с целью освоения теоретического курса, подготовку к практическим занятиям, тематика которых полностью охватывает содержание дисциплины.

Для проведения практических и лабораторных занятий, для самостоятельной работы используется методическое пособие: Толстова Л.А. Теория автоматического управления: лабораторный практикум по дисциплине для студентов заочной формы обучения; Толстова Л.А. Теория автоматического управления: практикум по дисциплине для студентов заочной формы обучения.

Темы самостоятельной работы студентов:

1. Элементная база судовых автоматизированных систем управления. Повторение разделов курса «Элементы и функциональные устройства автоматики». [2,3] с. 5-25.
2. Основные режимы работы САР и САУ. [1,2,3].
3. Основные режимы работы САР и САУ. [1] с. 79-86, [4] с.4-32.
4. Типовые динамические звенья в ТАУ, передаточные функции, характеристики. [1] с. 81-103, [4] с. 32-56.
5. Типовые регуляторы судовых автоматических систем регулирования. [1]с. 108-111,[4] с. 56-85.
6. Анализ устойчивости линейных САР. [1] с.112-122, [4] с.85-101.
7. Синтез САР. [1] с. 162-178, [4] с.101-127.
8. Нелинейные и адаптивные САУ. [2] с. 683-705.

6. ФОНД ОЦЕНОЧНЫХ СРЕДСТВ ДЛЯ ПРОВЕДЕНИЯ ПРОМЕЖУТОЧНОЙ АТТЕСТАЦИИ ОБУЧАЮЩИХСЯ ПО ДИСЦИПЛИНЕ

Фонд оценочных средств для проведения промежуточной аттестации обучающихся по дисциплине представлен в приложении к рабочей программе дисциплины и включает в себя:

- перечень компетенций с указанием этапов их формирования в процессе освоения образовательной программы;
- описание показателей и критериев оценивания компетенций на различных этапах их формирования, описание шкал оценивания;

- типовые контрольные задания или материалы, необходимые для оценки знаний, умений, навыков и (или) опыта деятельности, характеризующих этапы формирования компетенций;
- методические материалы, определяющие процедуры оценивания знаний, умений, навыков и (или) опыта деятельности, характеризующих этапы формирования компетенций.

Критерии оценивания качества устного ответа на экзамене

Оценка «5» (отлично) выставляется, если обучающийся показывает всесторонние и глубокие знания программного материала, знание основной и дополнительной литературы; последовательно и четко отвечает на вопросы билета и дополнительные вопросы; уверенно ориентируется в проблемных ситуациях; демонстрирует способность применять теоретические знания для анализа практических ситуаций, делать правильные выводы, проявляет творческие способности в понимании, изложении и использовании программного материала; подтверждает полное освоение компетенций, предусмотренных программой.

Оценка «4» (хорошо) выставляется, если обучающийся показывает полное знание программного материала, основной и дополнительной литературы; дает полные ответы на теоретические вопросы, допуская некоторые неточности; правильно применяет теоретические положения к оценке практических ситуаций; демонстрирует хороший уровень освоения материала и в целом подтверждает освоение компетенций, предусмотренных программой.

Оценка «3» (удовлетворительно) выставляется, если обучающийся показывает знание основного материала в объеме, необходимом для предстоящей профессиональной деятельности; при ответе на вопросы не допускает грубых ошибок, но испытывает затруднения в последовательности их изложения; не в полной мере демонстрирует способность применять теоретические знания для анализа практических ситуаций, подтверждает освоение компетенций, предусмотренных программой на минимально допустимом уровне.

Оценка «2» (неудовлетворительно) выставляется, если обучающийся имеет существенные пробелы в знаниях основного учебного материала по разделу; не способен аргументировано и последовательно его излагать, допускает грубые ошибки в ответах, неправильно отвечает на задаваемые преподавателем вопросы или затрудняется с ответом; не подтверждает освоение компетенций, предусмотренных программой.

Вопросы для подготовки к промежуточной аттестации (экзамен)

1. Основные понятия теории автоматического управления (ТАУ).
2. Основные элементы систем автоматического управления (САУ).
3. Принципы построения САУ.
4. Законы управления.
5. Задачи автоматического управления.
6. Классификация систем автоматического управления по принципу регулирования, по закону воспроизведения задающего воздействия, по характеру формирования регулирующего воздействия.
7. Принципиальная, функциональная, структурная схемы САУ.
8. Математическое описание САУ.
9. Статический режим работы линейных судовых автоматических систем регулирования.
10. Статические характеристики, коэффициент передачи линейного звена.
11. Эквивалентный коэффициент передачи системы регулирования.
12. Уравнение статики замкнутой САУ.
13. Динамический режим работы линейных судовых автоматических систем регулирования.

14. Типовые воздействия.
15. Уравнение динамики САУ.
16. Понятие о передаточной функции.
17. Передаточные функции и переходные характеристики типовых динамических звеньев.
18. Понятие о частотных характеристиках динамических звеньев.
19. Основные правила преобразования структурных схем. Передаточные функции разомкнутой и замкнутой САУ.
20. Типовые регуляторы судовых автоматических систем.
21. Анализ устойчивости САУ. Необходимые и достаточные условия устойчивости. Критерии устойчивости.
22. Анализ качества САУ. Основные показатели качества. Прямые и косвенные показатели качества САУ.
23. Частотный метод анализа показателей качества процесса управления.
24. Улучшение качества и точности процесса управления. Понятие о коррекции САУ.
25. Синтез САУ при последовательном включении корректирующего устройства.
26. Синтез САУ при параллельном включении корректирующего устройства.
27. Корректирующие устройства по внешнему воздействию.
28. Дискретно-непрерывные САУ. Импульсные и цифровые САУ.
29. Нелинейные САУ.
30. Оптимальные и адаптивные САУ.

7. РЕКОМЕНДУЕМАЯ ЛИТЕРАТУРА

7.1 Основная литература

1. Прохоренков А.М., Солодов В.С., Татьянченко Ю.Г. Судовая автоматика. М.: Колос, 1992, – 447 с.

7.2 Дополнительная литература

2. Бесекерский В.А., Попов Е.Н. Теория автоматического управления. Изд.4-е перераб. и доп. - СПб. Издательство "Профессия", 2008 – 752с.
3. Туманов М.П. Теория управления. Теория линейных систем автоматического управления. Учебное пособие.- М.:МГИЭМ, 2005.-82с. (интернет ресурс).

7.3 Методическое обеспечение:

4. Толстова Л.А. Теория автоматического управления в вопросах и ответах: учебное пособие для студентов очной и заочной форм обучения / Л. А. Толстова.– 2-е изд., испр. и перераб. – ПетропавловскКамчатский: КамчатГТУ, 2016.–140 с.
5. Толстова Л.А. Теория автоматического управления: методические указания к самостоятельной и контрольной работам для студентов заочной форм обучения / Л. А. Толстова. – Петропавловск-Камчатский : КамчатГТУ, 2016. – 34 с.
6. Толстова Л.А. Теория автоматического управления: лабораторный практикум по дисциплине для студентов очной и заочной формы обучения / сост. Л. А. Толстова.– Петропавловск-Камчатский : КамчатГТУ, 2016. – 49 с.

7. Толстова Л.А. Теория автоматического управления: практикум по дисциплине для студентов очной и заочной форм обучения / Л. А. Толстова. – Пет-ропавловск-Камчатский: КамчатГТУ, 2016. – 57 с.

8 ПЕРЕЧЕНЬ РЕСУРСОВ ИНФОРМАЦИОННО- ТЕЛЕКОММУНИКАЦИОННОЙ СЕТИ «ИНТЕРНЕТ»

1.Электронно-библиотечная система «eLibrary»: [Электронный ресурс]. - Режим доступа: <http://www.elibrary.ru>

9. МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ ДЛЯ ОБУЧАЮЩИХСЯ ПО ОСВОЕНИЮ ДИСЦИПЛИНЫ

Рекомендации по освоению лекционного материала, подготовке к лекциям Лекции являются основным видом учебных занятий в высшем учебном заведении. В ходе лекционного курса проводится изложение современных научных взглядов и освещение основных проблем изучаемой области знаний. Значительную часть теоретических знаний студент должен получать самостоятельно из рекомендованных основных и дополнительных информационных источников (учебников, Интернет-ресурсов, электронной образовательной среды университета). В тетради для конспектов лекций должны быть поля, где по ходу конспектирования делаются необходимые пометки. В конспектах рекомендуется применять сокращения слов, что ускоряет запись. Вопросы, возникшие в ходе лекций, рекомендуется делать на полях и после окончания лекции обратиться за разъяснениями к преподавателю. После окончания лекции рекомендуется перечитать записи, внести поправки и дополнения на полях. Конспекты лекций рекомендуется использовать при подготовке к практическим занятиям и лабораторным работам, экзамену, контрольным тестам, коллоквиумам, при выполнении самостоятельных заданий.

Рекомендации по подготовке к практическим занятиям. Для подготовки к практическим занятиям необходимо заранее ознакомиться с перечнем вопросов, которые будут рассмотрены на занятии, рекомендуемой основной и дополнительной литературы. Необходимо прочитать соответствующие разделы из основной и дополнительной литературы, рекомендованной преподавателем, выделить основные понятия и процессы, их закономерности и движущие силы и взаимные связи. При подготовке к занятию не нужно заучивать учебный материал. На практических занятиях нужно выяснять у преподавателя ответы на интересующие или затруднительные вопросы, высказывать и аргументировать свое мнение.

Рекомендации по организации самостоятельной работы. Самостоятельная работа включает изучение учебной литературы, поиск информации в сети Интернет, подготовку к практическим занятиям, экзамену, выполнение самостоятельных практических заданий (рефератов, расчетно-графических заданий/работ, оформление отчетов по лабораторным

работам и практическим заданиям, решение задач, изучение теоретического материала, вынесенного на самостоятельное изучение, изучение отдельных функций прикладного программного обеспечения и т.д.).

Необходимым условием успешного освоения дисциплины является прочное знание принципов описания и анализа динамических звеньев, заложенных при изучении дисциплин «Математический анализ», «Теоретические основы электротехники» и умение использовать компьютерную технику. Поэтому обучающийся должен при наличии пробелов в предшествующем образовании обратить первоочередное внимание на указанные разделы. Большое значение имеет навык чтения схем электронных устройств, поскольку современные функциональные устройства судовой автоматики выполнены на микроэлектронной элементной базе. Однако понимания принципов работы электронных схем невозможно достичь только изучением теоретического материала. Представления об изучаемых устройствах должны быть закреплены в процессе выполнения лабораторных работ. Настоятельно рекомендуется получить у преподавателя в личное пользование электронную версию методических указаний по выполнению лабораторных работ и перед выполнением каждой работы подготовиться по теоретическим вопросам. При выполнении лабораторных работ следует осознавать, что моделирование функциональных устройств всегда оставляет некоторую свободу в выборе способа реализации функций устройства. Поэтому следует не копировать «слепо» готовые решения, а наоборот, пытаться найти способ построения адекватной модели самостоятельно.

Все рекомендации по выполнению практических и лабораторных работ содержатся в методических указаниях.

10. ПЕРЕЧЕНЬ ИНФОРМАЦИОННЫХ ТЕХНОЛОГИЙ, ИСПОЛЬЗУЕМЫХ ПРИ ОСУЩЕСТВЛЕНИИ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОГО ПРОЦЕССА ПО ДИСЦИПЛИНЕ, ВКЛЮЧАЯ ПЕРЕЧЕНЬ ПРОГРАММНОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ И ИНФОРМАЦИОННО-СПРАВОЧНЫХ СИСТЕМ

10.1 Перечень информационных технологий, используемых при осуществлении образовательного процесса

1. электронные образовательные ресурсы, представленные в п. 7 и 8 данной рабочей программы;
2. использование слайд-презентаций;

10.2. Перечень программного обеспечения, используемого при осуществлении образовательного процесса

При освоении дисциплины используется лицензионное программное обеспечение:

1. текстовый редактор MicrosoftWord;
2. электронные таблицы MicrosoftExcel;
3. презентационный редактор MicrosoftPowerPoint;
4. моделирующий пакет CLASSIC.

10.3 Перечень информационно-справочных систем

- Сайт об электромеханике электротехнике электронике elektromehanika.org

12. МАТЕРИАЛЬНО-ТЕХНИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ

1. для проведения занятий лекционного типа, практических и лабораторных занятий, групповых и индивидуальных консультаций, текущего контроля и промежуточной аттестации, самостоятельной работы учебная аудитория № 3-403 с комплектом учебной мебели на 32 посадочных места;

2. доска аудиторная;

3. комплект лекций в MicrosoftWord по темам курса «ТАУ»;

4. мультимедийное оборудование (ноутбук, проектор);

5. плакаты;

6. обучающие программные пакеты;

7. практикум и лабораторный практикум по темам курса «ТАУ», методические

указания по выполнению курсовой работы в Microsoft Word;

8. компьютеры;

9. плакаты;

10. схемы.

ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ
ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
«КАМЧАТСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»
(ФГБОУ ВО «КамчатГТУ»)

Факультет МОРЕХОДНЫЙ

Кафедра «ЭНЕРГЕТИЧЕСКИЕ УСТАНОВКИ И ЭЛЕКТРООБОРУДОВАНИЕ СУДОВ»

УТВЕРЖДАЮ
Декан мореходного факультета



С.Ю. Труднев

«23» октября 2024 г.

ФОНД ОЦЕНОЧНЫХ СРЕДСТВ ДИСЦИПЛИНЫ
«Теория автоматического управления»

по направлению подготовки
13.03.02 «Энергетика и электротехника»
(уровень бакалавриат)

профиль: «Электрооборудование и автоматика судов»
квалификация: бакалавр

Петропавловск-Камчатский
2024

Фонд оценочных средств дисциплины составлен на основании ФГОС ВО по специальности 13.03.02 «Энергетика и электротехника» (уровень бакалавриат), учебного плана подготовки специалистов, принятого на заседании ученого совета ФГБОУ ВО «КамчатГТУ» 23.10.2024 г., протокол № 2.

Составитель фонда оценочных средств
Доцент кафедры «ЭУЭС»



(подпись)

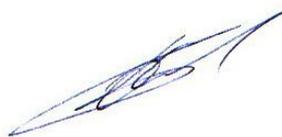
Толстова Л.А.
(ФИО.)

Фонд оценочных средств рассмотрен на заседании кафедры «Энергетические установки и электрооборудование судов»

«17» октября 2024 г, протокол № 4

Заведующий кафедрой «Энергетические установки и электрооборудование судов»

«23» октября 2024 г.



Белов О.А.

АКТУАЛЬНО НА

2025 / 2026 учебный год



(подпись)

Белов О.А.
(ФИО. зав.кафедрой)

2026 / 2027 учебный год

(подпись)

(ФИО. зав.кафедрой)

2027 / 2028 учебный год

(подпись)

(ФИО. зав.кафедрой)

2028 / 2029 учебный год

(подпись)

(ФИО. зав.кафедрой)

2029 / 2030 учебный год

(подпись)

(ФИО. зав.кафедрой)

Фонд оценочных средств для проведения промежуточной аттестации студентов по дисциплине «Теория автоматического управления» представлен в приложении к рабочей программе дисциплины и включает в себя:

1. паспорт фонда оценочных средств по дисциплине;
2. перечень компетенций с указанием этапов их формирования в процессе освоения образовательной программы;
3. описание показателей и критериев оценивания компетенций на различных этапах их формирования, описание их шкал оценивания;
4. методические материалы, определяющие процедуры оценивания знаний, умений, навыков, характеризующих этапы формирования компетенций.

1 Паспорт фонда оценочных средств по дисциплине «Теория автоматического управления»

№	Контролируемые разделы (темы) дисциплины	Код контролируемой компетенции (или ее части)	Наименование оценочного средства
1	Принципы построения и элементный состав САУ	ПК-2, ПК-3	Контроль СРС, защита практических и лабораторных работ, опрос, тест-контроль
2	Судовые объекты автоматизации		
3	Статический и динамический режимы работы линейных судовых САУ		
4	Анализ устойчивости линейных судовых САУ		
5	Анализ качества управления линейных судовых САУ		
6	Синтез и коррекцию линейных судовых САУ		

2 Перечень компетенций с указанием этапов их формирования в процессе освоения образовательной программы

№ п/п	Код контролируемой компетенции	Наименование контролируемой компетенции	Наименование дисциплины формирующей компетенцию	Этапы формирования компетенции				
				1 курс	2 курс	3 курс	4 курс	5 курс
1	ПК-2	Способен производить оценку технического состояния электрооборудования	Электроизмерительная и КА			3		
			Теория автоматического управления			3		
			Микропроцессорные СУ					5
			Основы расчета и проектирование ЭЭС					5
			Производственная практика			3	4	
2	ПК-3	Способен планировать и вести деятельность по техническому обслуживанию и ремонту электрооборудования	Элементы и ФУ СА			3		
			Теория автоматического управления			3		
			Ремонт и монтаж СЭ и СА					5
			Основы расчета и проектирование ЭЭС					5
			Производственная практика			3	4	

3 Описание показателей и критериев оценивания компетенций на различных этапах их формирования, описание их шкал оценивания

Критерии оценивания качества устного ответа

Оценка «5» (отлично) выставляется, если обучающийся показывает всесторонние и глубокие знания программного материала, знание основной и дополнительной литературы; последовательно и четко отвечает на вопросы билета и дополнительные вопросы; уверенно ориентируется в проблемных ситуациях; демонстрирует способность применять теоретические знания

для анализа практических ситуаций, делать правильные выводы, проявляет творческие способности в понимании, изложении и использовании программного материала; подтверждает полное освоение компетенций, предусмотренных программой.

Оценка «4» (хорошо) выставляется, если обучающийся показывает полное знание программного материала, основной и дополнительной литературы; дает полные ответы на теоретические вопросы, допуская некоторые неточности; правильно применяет теоретические положения к оценке практических ситуаций; демонстрирует хороший уровень освоения материала и в целом подтверждает освоение компетенций, предусмотренных программой.

Оценка «3» (удовлетворительно) выставляется, если обучающийся показывает знание основного материала в объеме, необходимом для предстоящей профессиональной деятельности; при ответе на вопросы не допускает грубых ошибок, но испытывает затруднения в последовательности их изложения; не в полной мере демонстрирует способность применять теоретические знания для анализа практических ситуаций, подтверждает освоение компетенций, предусмотренных программой на минимально допустимом уровне.

Оценка «2» (неудовлетворительно) выставляется, если обучающийся имеет существенные пробелы в знаниях основного учебного материала по разделу; не способен аргументировано и последовательно его излагать, допускает грубые ошибки в ответах, неправильно отвечает на задаваемые преподавателем вопросы или затрудняется с ответом; не подтверждает освоение компетенций, предусмотренных программой.

Вопросы для подготовки к промежуточной аттестации

1. Основные понятия теории автоматического управления (ТАУ).
2. Основные элементы систем автоматического управления (САУ).
3. Принципы построения САУ.
4. Законы управления.
5. Задачи автоматического управления.
6. Классификация систем автоматического управления по принципу регулирования, по закону воспроизведения задающего воздействия, по характеру формирования регулирующего воздействия.
7. Принципиальная, функциональная, структурная схемы САУ.
8. Математическое описание САУ.
9. Статический режим работы линейных судовых автоматических систем регулирования.
10. Статические характеристики, коэффициент передачи линейного звена.
11. Эквивалентный коэффициент передачи системы регулирования.
12. Уравнение статики замкнутой САУ.
13. Динамический режим работы линейных судовых автоматических систем регулирования.
14. Типовые воздействия.
15. Уравнение динамики САУ.
16. Понятие о передаточной функции.
17. Передаточные функции и переходные характеристики типовых динамических звеньев.
18. Понятие о частотных характеристиках динамических звеньев.
19. Основные правила преобразования структурных схем. Передаточные функции разомкнутой и замкнутой САУ.
20. Типовые регуляторы судовых автоматических систем.
21. Анализ устойчивости САУ. Необходимые и достаточные условия устойчивости. Критерии устойчивости.
22. Анализ качества САУ. Основные показатели качества. Прямые и косвенные показатели качества САУ.
23. Частотный метод анализа показателей качества процесса управления.
24. Улучшение качества и точности процесса управления. Понятие о коррекции САУ.
25. Синтез САУ при последовательном включении корректирующего устройства.
26. Синтез САУ при параллельном включении корректирующего устройства.

27. Корректирующие устройства по внешнему воздействию.
28. Дискретно-непрерывные САУ. Импульсные и цифровые САУ.
29. Нелинейные САУ.
30. Оптимальные и адаптивные САУ.

Опрос

Опрос проводит преподаватель по всем темам дисциплины. Знания, умения, навыки студента при проведении опроса оцениваются «зачтено», «не зачтено». Основой для определения оценки служит уровень освоения курсантами и студентами материала, предусмотренного данной рабочей программой.

Оценивание студента во время дискуссии, опроса по дисциплине «ТАУ»

Оценка	Требования к знаниям
«Зачтено»	Оценка «зачтено» выставляется обучающемуся, который усвоил предусмотренный программный материал; правильно, с применением примеров, показал систематизированные знания по темам дисциплины, способен связать теорию с практикой, тему вопроса с другими темами данного курса, других изучаемых дисциплин.
«Не зачтено»	Оценка «не зачтено» выставляется в следующих случаях: 1. Обучающийся не справился с заданием, не может ответить на вопросы предложенные преподавателем, не обладает целостным представлением об изучаемой теме и ее взаимосвязях. 2. Ответ на вопрос полностью отсутствует. 3. Отказ от ответа.

После выполнения лабораторной работы, а также решения практических заданий, преподаватель проводит опрос. Перечень контрольных вопросов и тестовые задания (к практическим работам) содержится в методических указаниях, далее ниже с указанием страниц.

Толстова Л.А. Теория автоматического управления : лабораторный практикум по дисциплине для курсантов и студентов специальности Эксплуатация судового электрооборудования и средств автоматики очной и заочной формы обучения / сост. Л. А. Толстова.– Петропавловск-Камчатский : КамчатГТУ, 2016. – 49 с.

- Вопросы к лабораторной работе №1: с. 18
- Вопросы к лабораторной работе №2: с. 35
- Вопросы к лабораторной работе №3: с. 41
- Вопросы к лабораторной работе №4: с. 48

Толстова Л.А. Теория автоматического управления : практикум по дисциплине для курсантов и студентов специальности Эксплуатация судового электрооборудования и средств автоматики очной и заочной форм обучения / Л. А. Толстова. – Петропавловск-Камчатский : КамчатГТУ, 2016. – 57 с.

- Вопросы и тест-контроль к практическому занятию №1: с. 9-10
- Вопросы к практическому занятию №2: с. 19
- Вопросы и тест-контроль к практическому занятию №3: с. 24-25
- Вопросы и тест-контроль к практическому занятию №4: с. 29-31
- Вопросы и тест-контроль к практическому занятию №5: с. 38-39
- Вопросы и тест-контроль к практическому занятию №6: с. 45-47
- Вопросы к практическому занятию №7: с. 52-53

Методические указания по выполнению КОНТРОЛЬНОЙ РАБОТЫ

Студент заочного факультета должен выполнить 1 контрольную работу по дисциплине. В контрольную работу входят: 3 теоретических вопроса из перечня вопросов к контрольной работе (выбрать в табл.5); динамический расчет системы автоматического регулирования согласно варианта; ответы на вопросы тест-контроля.

С целью качественного выполнения контрольной работы необходимо проанализировать лекционные конспекты и конспекты самостоятельной работы по пройденной теме. Проанализировать примеры решения задач методических указаний. В случае необходимости воспользоваться соответствующей технической литературой или консультацией преподавателя.

В ходе выполнения контрольной работы заниматься самоконтролем, т.е. обращать внимание за получаемыми числовыми данными электрических или магнитных параметров и анализировать поведение электрических машин главного контура применительно к полученным данным, тем самым вы обнаружите появившуюся ошибку в расчете.

Рекомендации по оформлению контрольной работы, вопросы и варианты Кр, а также тест-контроль содержатся в методических указаниях

Методические указания к выполнению контрольной работе

Толстова Л.А. Теория автоматического управления : методические указания к самостоятельной и контрольной работам для курсантов и студентов специальности Эксплуатация судового электрооборудования и средств автоматики очной и заочной форм обучения / Л. А. Толстова. – Петропавловск-Камчатский : КамчатГТУ, 2016. – 34 с.

4 Методические материалы определяющие, процедуры оценивания знаний, умений, навыков и или опыта деятельности, характеризующих этапы формирования компетенций.

Оценка знаний, умений и навыков и (или) опыта деятельности, характеризующие этапы формирования компетенций по дисциплине проводятся в форме текущего контроля, промежуточной и итоговой аттестации.

Текущий контроль проводится в течение сессии с целью определения уровня усвоения обучающимися знаний, формирования умений и навыков, своевременного выявления преподавателем недостатков в подготовке обучающихся и принятия необходимых мер по её коррективке, а так же для совершенствования методики обучения, организации учебной работы и оказания индивидуальной помощи обучающемуся.

Промежуточная и итоговая аттестации по дисциплине проводится в виде контрольного опроса.

За знания, умения и навыки, приобретенные обучающимися в период их обучения, выставляются оценки: «ОТЛИЧНО», «ХОРОШО», «УДОВЛЕТВОРИТЕЛЬНО», «НЕУДОВЛЕТВОРИТЕЛЬНО».

Для оценивания знаний, умений, навыков и (или) опыта деятельности в университете применяется система оценки качества освоения образовательной программы.

Оценка проводится при проведении текущего контроля успеваемости и промежуточных аттестаций обучающихся.

Процедура оценивания – порядок действий при подготовке и проведении аттестационных испытаний и формировании оценки.

Аттестационные испытания проводятся ведущим преподавателем по данной дисциплине. Присутствие посторонних лиц в ходе проведения аттестационных испытаний без разрешения ректора или проректора не допускается (за исключением работников университета, выполняющих контролирующие функции в соответствии со своими должностными обязанностями). В случае отсутствия ведущего преподавателя аттестационные испытания проводятся преподавателем, назначенным письменным распоряжением заведующим кафедрой.

Инвалиды и лица с ограниченными возможностями здоровья, допускаются на аттестационные испытания в сопровождении ассистентов-сопровождающих.

– Во время аттестационных испытаний обучающиеся могут пользоваться программой учебной дисциплины, а также с разрешения преподавателя справочной и нормативной литературой, калькуляторами.

– Время подготовки ответа при сдаче зачета/экзамена в устной форме должно составлять не менее 20/30 минут соответственно, (по желанию обучающегося ответ может быть досрочным).
Время ответа – не более 15 минут.

– Оценка результатов устного аттестационного испытания объявляется обучающимся в день его проведения. При проведении письменных аттестационных испытаний или компьютерного тестирования – в день их проведения или не позднее следующего рабочего дня после их проведения.

– Результаты выполнения аттестационных испытаний, проводимых в письменной форме, форме итоговой контрольной работы или компьютерного тестирования, должны быть объявлены обучающимся и выставлены в зачётные книжки не позднее следующего рабочего дня после их проведения.

Критерии оценивания результатов освоения дисциплины

Итоговая оценка выставляется по следующим критериям:

Оценка «отлично» выставляется за глубокое знание предусмотренного программой материала, содержащегося в основных и дополнительных рекомендованных литературных источниках, за умение четко, лаконично и логически последовательно отвечать на поставленные вопросы, за умение анализировать изучаемые явления в их взаимосвязи и диалектическом развитии, применять теоретические положения при решении практических задач; обучающийся подтверждает полное освоение компетенций, предусмотренных программой.

Оценка «хорошо» выставляется за твердое знание основного (программного) материала, включая расчеты (при необходимости), за грамотные, без существенных неточностей ответы на поставленные вопросы, за умение применять теоретические положения для решения практических задач; обучающийся демонстрирует хороший уровень освоения материала и в целом подтверждает освоение компетенций, предусмотренных программой.

Оценка «удовлетворительно» выставляется за общее знание только основного материала, за ответы, содержащие неточности или слабо аргументированные, с нарушением последовательности изложения материала, за слабое применение теоретических положений при решении практических задач; обучающийся подтверждает освоение компетенций, предусмотренных программой на минимально допустимом уровне.

Оценка «неудовлетворительно» выставляется за незнание значительной части программного материала, за существенные ошибки в ответах на вопросы, за неумение ориентироваться в расчетах, за незнание основных понятий дисциплины; не подтверждает освоение компетенций, предусмотренных программой.

**Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
Высшего образования**

Камчатский государственный технический университет

Мореходный факультет

Дисциплина Теория автоматического управления

КОНТРОЛЬНАЯ РАБОТА

Вариант № ____

Работу выполнил
студент группы _____

(Фамилия ИО студента)

Работу принял
доцент кафедры
ЭУЭС Толстова Л.А.

Петропавловск-Камчатский
2024

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования
«Камчатский государственный технический университет»

Мореходный факультет

Кафедра «Энергетические установки и электрооборудование судов»

ТЕОРИЯ АВТОМАТИЧЕСКОГО УПРАВЛЕНИЯ

Методические указания к лабораторной работе
для студентов,
обучающихся по направлению подготовки 13.03.02
«Электроэнергетика и электротехника»
профиль «Электрооборудование и
автоматика судов»
заочной формы обучения

Петропавловск-Камчатский
2024

Толстова Людмила Александровна, доцент кафедры ЭУЭС

Теория автоматического управления: методические указания к лабораторной работе по дисциплине для студентов высших учебных заведений, обучающихся по направлению подготовки 3.03.02 «Электроэнергетика и электротехника» профиль «Электрооборудование и автоматика судов» заочной формы обучения / Л.А. Толстова – Петропавловск-Камчатский: КамчатГТУ, 2024. – с.49

Методические указания к лабораторной работе составлены в соответствии с федеральным государственным образовательным стандартом высшего образования по направлению подготовки 13.03.02 «Электроэнергетика и электротехника» профиль «Электрооборудование и автоматика судов», утвержденного приказом Министерства науки и высшего образования Российской Федерации от 28 февраля 2018 г. № 144 (уровень бакалавриат).

Обсуждены:

на заседании кафедры ЭУЭС «17» октября 2024 г., протокол № 4

Зав. кафедрой ЭУЭС  О.А. Белов

Методические указания к лабораторной работе по дисциплине «Теория автоматического управления» рассмотрены и утверждены на заседании УМС протокол № 2 от «02» октября 2024 г.

1. ОБЩИЕ ПОЛОЖЕНИЯ

1.1. Лабораторная работа студентов (ЛРС) по дисциплине «Теория автоматического управления» является важной составляющей частью подготовки студентов по направлению подготовки 13.03.02 «Электроэнергетика и электротехника» профиль «Электрооборудование и автоматика судов» и выполняется в соответствии с ФГОС ВО. Основной целью ЛРС является:

- развитие навыков ведения самостоятельной работы;
- приобретение опыта систематизации полученных результатов исследований, формулировку новых выводов и предложений как результатов выполнения работы;
- развитие умения использовать научно-техническую литературу и нормативно-методические материалы в практической деятельности;
- приобретение опыта публичной защиты результатов самостоятельной работы.

В соответствии с требованиями ФГОС ВО по направлению подготовки 13.03.02 «Электроэнергетика и электротехника» профиль «Электрооборудование и автоматика судов» изучение дисциплины «Теория автоматического управления» направлено на формирование у выпускника следующей профессиональной компетенции:

- способность обосновывать планы и программы технического обслуживания и ремонта оборудования электрических сетей (**ПК-2**);
- способность планировать и вести деятельность по техническому обслуживанию и ремонту электрооборудования (**ПК-3**).

1.2. В результате изучения дисциплины студент должен знать:

- правила технической эксплуатации электрических станций и сетей в части оборудования подстанций электрических сетей;
- правила эксплуатации и организации ремонта электрических сетей;
- правила устройства электроустановок;
- порядок и методы планирования работ по техническому обслуживанию и ремонту оборудования подстанций электрических сетей;
- порядок организации обеспечения производства ремонтов оборудования подстанций электрических сетей материально-техническими ресурсами;
- нормы и требования, стандарты по испытаниям оборудования подстанций электрических сетей, пусконаладке;
- методы анализа качественных показателей работы оборудования подстанций электрических сетей;
- порядок вывода оборудования подстанции в ремонт и оформления нарядов-допусков для выполнения на них работ;
- технологию производства ремонтных работ оборудования подстанций электрических сетей;

- основы экономики и организации производства, труда и управления в энергетике;
- законодательные и нормативно-правовые акты, методические материалы по вопросам производственного планирования и оперативного управления производством;
- нормальные, аварийные, послеаварийные и ремонтные режимы эксплуатации оборудования, закрепленного за подразделением;
- организационно-распорядительные, нормативно-технические и методические документы по вопросам эксплуатации высоковольтных линий электропередачи;
- основы трудового законодательства Российской Федерации в объеме, необходимом для выполнения трудовых обязанностей;
- требования охраны труда, промышленной и пожарной безопасности и производственной санитарии, регламентирующие деятельность по трудовой функции.

1.3. В результате изучения дисциплины студент должен уметь:

- анализировать и прогнозировать ситуацию по техническому состоянию и ходе ремонта оборудования подстанций электрических сетей;
- оценивать состояние техники безопасности на подстанциях электрических сетей;
- оценивать качество произведенных работ по техническому обслуживанию и ремонту оборудования подстанций электрических сетей;
- применять справочные материалы по техническому обслуживанию и ремонту оборудования подстанций электрических сетей;
- проводить техническое освидетельствование оборудования подстанций электрических сетей;
- планировать производственную деятельность, ремонты оборудования подстанций электрических сетей;
- вести техническую и отчетную документацию; планировать и организовывать работу подчиненных работников;
- применять автоматизированные системы мониторинга и диагностики кабельных линий электропередачи;
- применять справочные материалы, анализировать научно-техническую информацию в области эксплуатации кабельных линий электропередачи;
- проводить визуальные и инструментальные обследования и испытания;
- работать с текстовыми редакторами, электронными таблицами, электронной почтой и браузерами, специализированными компьютерными программами;
- умеет разрабатывать предложения по текущему и перспективному планированию работ по техническому обслуживанию и ремонту кабельных линий электропередач.

1.4. В результате изучения дисциплины студент должен владеть:

- навыками подготовки проектов планов-графиков и программ технического обслуживания и ремонта оборудования подстанций электрических сетей;
- составления заявок на оборудование, запасные части, материалы, инструмент, защитные средства, приспособления, механизмы;
- составления планов мероприятий по подготовке к особым условиям работы по техническому обслуживанию и ремонту оборудования подстанций электрических сетей;
- навыками оформления заявок на оборудование, материалы, запасные части, и др. необходимые для технического обслуживания и ремонта материальные ресурсы, а также проектно-конструкторскую и нормативно-техническую документацию, контроль выполнения заявок;
- навыками подготовки предложений в планы-графики осмотров, ремонта и технического обслуживания кабельных линий электропередачи;
- контролирует подготовку исходных и технических условий для проектирования строительства и реконструкции высоковольтных линий электропередачи;
- контроль подготовки планов-графиков осмотров, ремонта и технического обслуживания кабельных линий и контроль их выполнения;
- навыками контроля подготовки утвержденных дефектных ведомостей, проектов проведения работ и карт организации труда;
- навыками проведения аттестации и подготовки к сертификации рабочих мест на соответствие требованиям охраны труда;
- проверяет корректность расчетов, выполненных с целью обоснования планов и программ деятельности по техническому обслуживанию и ремонту кабельных линий электропередач.

2. ВВЕДЕНИЕ

Лабораторный практикум по дисциплине «Теория автоматического управления» предназначен для студентов, обучающихся по направлению подготовки 13.03.02 «Электроэнергетика и электротехника» профиль «Электрооборудование и ав-томатика судов».

Автоматизация является важным средством повышения эффективности производственных процессов. Экономичное, надежное и безопасное функционирование сложных систем автоматики может быть обеспечено с помощью лишь самых совершенных принципов и технических средств управления.

Теория автоматического управления (ТАУ) - научная дисциплина, предметом изучения которой являются информационные процессы, протекающие в системах управления техническими и технологическими объектами. ТАУ вы-

являет общие закономерности функционирования, присущие автоматическим системам различной физической природы, и на основе этих закономерностей разрабатывает принципы построения высококачественных систем управления. ТАУ при изучении процессов управления абстрагируется от физических и конструктивных особенностей систем и вместо реальных систем рассматривает их адекватные математические модели. Основными методами исследования в ТАУ являются математическое моделирование, теория обыкновенных дифференциальных уравнений, операционное исчисление и гармонический анализ.

Задача лабораторного практикума - способствовать формированию у обучающихся навыков в применении методов теории линейных систем автоматического управления для анализа и синтеза систем автоматического управления реальными технологическими процессами.

После изучения дисциплины специалист должен получить глубокую подготовку по общетеоретическим основам автоматического регулирования и управления и прочные практические навыки по исследованию линейных автоматических систем.

После выполнения лабораторных работ студенты должны:

знать

- современные методы исследования и анализа систем автоматического управления;

- правила чтения схем автоматики;

уметь:

- применять математические методы для анализа общих свойств линейных систем автоматического управления;

иметь навыки

- применения компьютерных технологий к анализу и синтезу САУ, синтезу параметров и корректирующих звеньев по заданным требованиям к качеству функционирования систем;

обладать следующими компетенциями:

- способностью и готовностью выполнять диагностирование, техническое обслуживание и ремонт судового электрооборудования и средств автоматики;

- способностью и готовностью осуществлять выбор электрооборудования и элементов систем автоматики для замены в процессе эксплуатации судового оборудования;

- способностью и готовностью осуществлять разработку и оформление эксплуатационной документации.

Лабораторное занятие 1

Знакомство с программой CLASSIC для анализа и синтеза систем управления.

Цель работы: Познакомиться с моделирующим пакетом CLASSIC для анализа и синтеза систем управления.

Задание: Освоить графический редактор программы.

1.1 Общие сведения о программе.

Программа CLASSIC (Complex Linear Analysis and Structure Synthesis in Control), версия 3.0 для персональных компьютеров класса IBM PC позволяет строить математические модели, анализировать и синтезировать линейные системы управления со сложной структурой, представленные в форме структурных схем. Применение персональных компьютеров требует наличия адекватного программного и методического обеспечений. Полномасштабные коммерческие программы, типа MATLAB, в силу своей универсальности и сложности требуют значительных усилий на их освоение. В связи с этим получают распространение малые и средние специализированные программы, ориентированные на определенную предметную область. Программа CLASSIC ориентирована на автоматизированный анализ простых линейных систем управления с использованием частотных и корневых методов. Особенностью системы CLASSIC является использование визуального моделирования, при котором информация об исследуемой системе задается в виде некоторого графического объекта прямо на экране компьютера. В системе CLASSIC в качестве такого графического объекта используется структурная схема исследуемой системы. Элементами структурной схемы являются звенья систем управления, описываемые передаточными функциями. В частном случае одномерная система имеет один вход и один выход и представляет собой одно дифференциальное уравнение или одну передаточную функцию. Основными особенностями программы являются:

- ориентация на методы классической теории автоматического управления;
- максимальная графичность отображения структур систем и характеристик;
- непосредственный и быстрый расчет характеристик систем по их структурному представлению;
- тесное взаимодействие процедур построения и редактирования моделей, анализа и синтеза;
- удобство исследования влияния вариаций элементов на характеристики систем в целом.

Пользователь этой относительно небольшой по объему программы избавляется от рутинных операций и получает возможность сосредоточиться на содержательных задачах расчета систем управления. Благодаря отсутствию вспомогательных операций в программе значительно сокращено "расстояние" между режимами редактирования моделей и отображения на экране результатов вычислений. Программа имеет иерархическую систему MENU, а также об-

щий и контекстно-зависимый HELP. Программа CLASSIC может работать в двух режимах:

- диалоговый (основной);
- демонстрационный.

Программу можно эксплуатировать на компьютерах класса IBM PC, снабженных графическими картами EGA, VGA, Hercules. Целесообразно оснащение компьютеров математическим сопроцессором. Операционная система MS DOS, версии 3.2 и выше. Программа написана на языке C. Версия 3.0 предназначена для расчета систем первого уровня причинно-следственной интеграции в форме C-графов. При разработке программы основное внимание уделено системам со сложной структурой, теоретико-графовым формам их описания и алгоритмам их расчета.

1.2. Основные правила работы с программой.

Для управления программой CLASSIC в основном используются система меню и функциональные клавиши. Независимо от контекста перечисленные ниже клавиши выполняют одни и те же функции:

<F1> - HELP программы; при повторном нажатии этой клавиши на экран выводится информация о способе пользования HELP(HELP ON HELP) <F10> - активизация системы меню; <Esc> - возврат в предыдущее состояние программы.

Ниже приведено описание работы с версией 3.0 программы CLASSIC в следующих основных режимах:

- ввод/редактирование;
- анализ;
- оптимизация;
- частотный синтез.

1.2.1 Режим "ВВОД/РЕДАКТИРОВАНИЕ".

Активизация WINDOWS-приложения CLASSiC-3.01 вызывает появление на экране дисплея логотипа программы. Логотип отображается в течение 5 с. и может быть досрочно удален с экрана щелчком мыши по его изображению. После этого появляется входное меню программы:

Файл, Окно, Справка.

Первая строка меню используется при вводе новой модели.

Следующие четыре строки представляют собой стандартные WINDOWS-процедуры работы с файлами. Файлам моделей программы CLASSiC-3.01 автоматически присваивается расширение *. mdl.

Процедура *Настройки* включает в себя выбор цветовой гаммы и ряда параметров для работы с программой. Программа CLASSiC-3.01 предлагает пользователю две заранее настроенные собственные цветовые гаммы: <Стандартная гамма> и <Стандартная печать/копирование>.

<Стандартная гамма> предназначена в основном для рабочего режима.

<Стандартная печать/копирование> имеет белый фон окон, что более предпочтительно для экономичной цветной печати. Стандартные гаммы не допускают коррекции цветов, изменений и не могут быть удалены.

Ввод и редактирование моделей

Модели динамических систем в программе задаются в форме структурных схем. На вход блока (звена) подключаются связи с выходов других блоков. Входные сигналы суммируются с учетом установленных на входах блоков знаков и преобразуются оператором, задаваемым передаточной функцией. Задание моделей включает в себя процедуры ввода (размещения) блоков, соединения их связями и задания параметров блоков. При задании параметров блока вводится его имя, изменяются число и знаки входов, задается передаточная функция и назначается ряд атрибутов. При редактировании моделей добавляются или исключаются отдельные блоки и связи и корректируются параметры блоков.

Модели в программе CLASSiC-3.01 могут быть введены с созданием графического образа структурной схемы, либо - без него, в текстовом виде.

При активизации пунктов меню Файл|Новый на экране появляется панель выбора формы задания модели.

При активизации строки Структурная схема модели открывается окно графического редактора.

При активизации строки Табличное описание модели открывается окно табличного редактора.

Активизация строки Структурная схема модели приводит к появлению окна Новая модель с установленным режимом Размещение блоков.

Режим размещения блоков характеризуется наличием на поле окна модели мигающего курсора, имеющего очертания блока. Курсор блока можно перемещать с помощью мыши. Собственно установка блока на месте курсора производится нажатием [Enter] или на-

жатием левой кнопки мыши. При этом появившемуся новому блоку присваивается следующий порядковый номер. Установленный блок (без связей) может быть перемещен на другое (свободное) место мышью при нажатой левой клавише. После установки хотя бы одного блока становится доступной процедура записи модели в файл данных.

Режим Проведение связей доступен при наличии установленных одного или большего числа блоков. Переход в этот режим осуществляется командой [F5] или через меню Редактирование|Проведение связей.

Режим Проведение связей сопровождается присутствием курсора связей (четырёхугольная звезда) на выходном порте выделенного (помеченного) или последнего введенного блока.

Для проведения связи с помощью мыши следует щёлкнуть левой кнопкой мыши над курсором связей (захватить курсор) и перемещать мышью, щёлкая левой кнопкой в местах поворота связи. Для стирания ошибочно проведённого отрезка связи необходимо двигать мышью назад, вдоль проведённого отрезка. Для того, чтобы закончить связь на входном порте блока, необходимо щёлкнуть левой кнопкой на этом блоке. Ввод и редактирование параметров блока производится при помощи панели Параметры блока. В левой части панели может

быть задано Имя блока (до восьми символов). Номер блока при вводе модели присваивается автоматически в порядке ввода блоков. Номер может быть изменен на другой из ряда 1,...,999; при этом производится контроль на наличие в модели блоков с

таким номером.

Изменение Ориентации (по горизонтали) допускается для блоков, не имеющих связей. Атрибуты предполагают установку на блоке Входа и/или Выхода системы, а также придание ему статуса Варьируемый. Если указанные атрибуты были ранее установлены на других блоках, то при их назначении в редактируемом блоке произойдет переустановка атрибутов на данный блок.



Рис.1.1. Панель настройки «параметры блока».

В средней части панели может быть задано число входных портов блока. При задании модели в графическом редакторе каждый новый блок вводится с тремя входами (минимальное число входов). Количество входных портов может быть увеличено (до десяти), что сопровождается увеличением размера блока на поле модели вниз по вертикали.

Знак сумматора (при вводе блока на всех входных портах устанавливается “+”) может быть изменен на противоположный. Для этого необходимо в панели Параметры блока на поле Знаки входов щелкнуть мышью по полю требуемого входного порта блока.

В правой части панели задается оператор блока – передаточная функция. Изначально каждый заново введенный блок имеет передаточную функцию $W(s)=0/0$. Ввод (редактирование) оператора производится заданием (изменением) коэффициентов при соответствующих степенях полиномов числителя и знаменателя. Для повышения или понижения

степени полинома предусмотрены специальные кнопки на поле оператора блока в панели параметров. Редактирование структуры модели предусматривает добавление отдельных объектов - блоков и связей в ранее введенную модель,

а также их удаление. Для удаления объекта необходимо его выделить (позначить). Выделение блока производится щелчком мыши по блоку. Для выделения связи требуется расположить конец стрелки курсора мыши на каком-либо месте связи, нажать левую кнопку и, удерживая ее, провести курсором

по отрезку связи. При стандартной цветовой гамме выделенный объект изображается на экране красным цветом. Собственно удаление производится командой [Del].

Имеется возможность одновременного удаления всех объектов модели – пункт меню Редактирование|Очистить модель.

Допускается перемещение ранее установленного блока по полю модели – пункт меню Редактирование|Переместить блок.

Пункт меню Переместить блок доступен при наличии на структурной схеме выделенного блока (не имеющего связей). При активизации этого пункта на выделенном блоке появляется специальный курсор, который можно перемещать по полю модели теми же командами, что и курсор размещения блоков. Фиксация блока на новом, не занятом другими объектами месте, производится командой [Enter].

Пункт меню Вид позволяет установить на экране или удалить сетку поля графической модели и изменить масштаб изображения модели.

По модели в форме структурной схемы, заданной в графическом или табличном редакторе, с использованием меню Расчеты|Характеристики или по команде [F9] производится расчет передаточной функции, а также расчет и построение характеристик в корневой, временной и частотной областях.

Результаты отображаются в окне Характеристики–Общий вид. Если в исходной модели назначен варьируемый блок, то в окне передаточных функций может быть изменен его оператор. В этом случае по команде [Ввод] пересчитываются и отображаются характеристики:

- номинальной (исходной) системы, полученные при номинальном (установленном в модели) операторе варьируемого блока;
- текущей системы, рассчитанные при измененном операторе варьируемого блока;
- непосредственно самого варьируемого блока.

Для подробного изучения характеристик и редактирования параметров графиков каждое из четырех окон может быть развернуто на весь экран, для чего используется специальная кнопка в правом верхнем углу окна.

Для переключения между окнами характеристик может быть также использовано меню Назначение диапазонов по осям графиков, изменение числа точек и других параметров, назначение конкретных характеристик для отображения и вывод в специальном окне значений показателей качества осуществляется по ниспадающему меню Графики. Это же меню может быть вызвано щелчком правой кнопки мыши по любому месту поля графиков.

Меню **Расчеты** дает возможность перенести новый оператор варьи-

Меню Расчеты дает возможность перенести новый оператор варьируемого блока в структурную схему модели, по которой были получены характеристики.

Окно Передаточные функции

В этом окне выводятся и редактируются передаточные функции с применением редактора передаточных функций, аналогичного тому, который используется для задания и реактирования операторов блоков исходных моделей.

Изначально выводится передаточная функция номинальной системы. Если в исходной модели назначен варьируемый блок и непосредственно в окне Характеристики было проведено изменение оператора варьируемого блока, зафиксированное нажатием кнопки Ввод, то могут быть выведены также передаточные функции текущей системы и самого варьируемого блока. Для номинальной и текущей систем редактор передаточных функ-

ций работает только в режиме просмотра, а для варьируемого блока – и в режиме редактирования.

Для одновременного отображения в компактном виде целиком передаточных функций и для документирования информации следует использовать пункты меню Вид|Передаточные функции (сводка).

При этом образуется окно с выводом передаточных функций в текстовой форме – рис.1.2.

В первом столбце указывается принадлежность передаточной функции – номинальной, текущей систем и варьируемого блока. Второй и третий столбцы перечисляют коэффициенты полиномов числителя и знаменателя. Правый столбец указывает степени аргумента при коэффициентах полиномов.

Вся информация окна либо выделенная с помощью мыши ее часть может быть скопирована в буфер обмена или записана в текстовый файл данных, для чего на панели имеются соответствующие кнопки.

Система	Передаточные функции		
	Числитель	Знаменатель	Степень
Ном. Система	8268.8	10225	0
	10673	23624	1
	497.15	14372	2
	95	3156.6	3
	0.25	540.81	4
		61.262	5
		4.8672	6
		0.28115	7
		0.0072704	8

Рис.1.2. Панель настройки блока «передаточная функция».

Окно Корневая плоскость

На рис.1.3 представлена корневая плоскость и ее панель настройки параметров, вызываемая из меню Графики|Параметры. Полюсы отображаются перекрестиями, нули - окружностями. Масштаб в сторону увеличения может быть изменен также с помощью “резиновой рамки”, т.е. растягиванием прямоугольника на плоскости с помощью мыши при нажатых кнопке мыши и клавише [Ctrl].

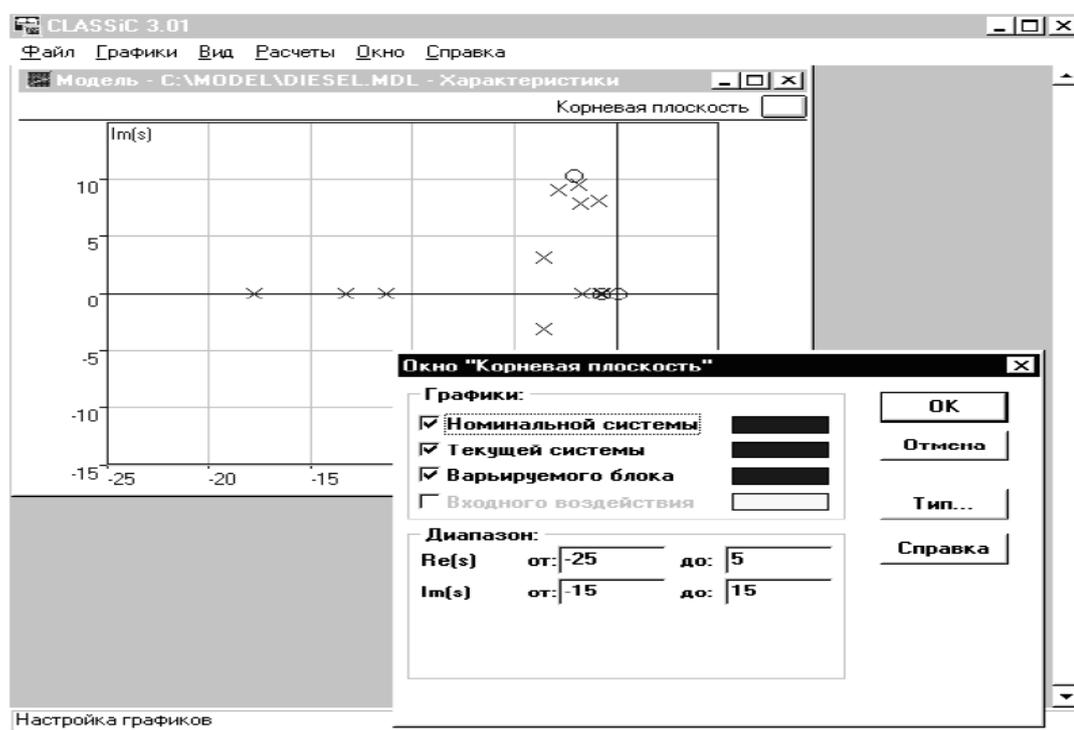


Рис.1.3. Панель настройки блока «корневая плоскость».

На рис.1.4. представлена панель вывода сводной информации в текстовом виде. Отображаются нули и полюсы передаточных функций номинальной, текущей систем, а также варьируемого блока.

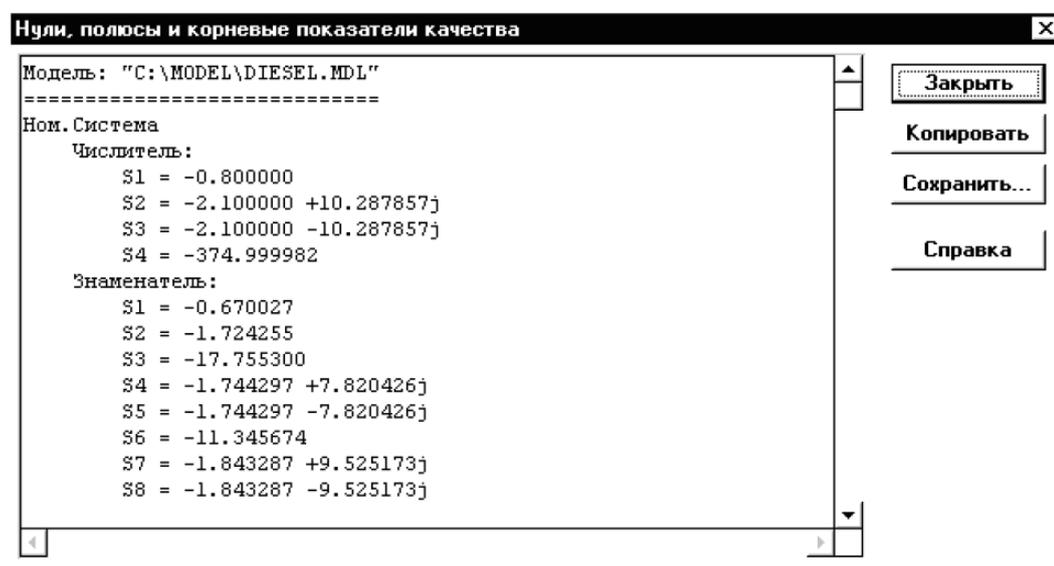


Рис.1.4. Панель вывода сводной информации для корневой плоскости.

Для номинальной и текущей систем, если их полюсы принадлежат левой полуплоскости, также рассчитываются и выводятся корневые показатели качества - абсолютное затухание и относительное затухание.

Окно Переходные процессы

На рис.1.5. изображены графики переходных процессов: входного воздействия, номинальной и текущей систем. По меню Графики|Тип для окна Переходные процессы вызывается панель выбора типа и задания параметров входного воздействия рис.1.5.

При задании синусоидального входного сигнала на панели выбора типа в качестве параметра появляется также и частота колебаний.



Рис.1.5. Графики переходных процессов и панель выбора входного воздействия.

Показатели качества для нерасходящихся переходных процессов номинальной и текущей систем отображаются в текстовой форме в окне, аналогичном по формату изображенному на рис.1.4 – меню Графики|Показатели качества (сводка).

При ступенчатом входном воздействии определяются время регулирования и установившееся значение. При условии, что наибольшее значение процесса не превосходит установившееся более чем на 100%, определяется перерегулирование; в противном случае – максимальное (минимальное) значение. В случаях δ -функции, линейного и параболического воздействий определяются максимальное значение, время регулирования и установившееся значение переходного процесса.

Окно частотных характеристик.

На рис.1.6 представлены логарифмические амплитудные и частотные характеристики номинальной, текущей систем, а также варьируемого блока. На этом же рисунке изображена панель выбора типа частотных характеристик – меню Графики|Тип.

Графики над осью частот отображают амплитудные характеристики; под осью частот - фазовые.

На оси частот также отображаются модули нулей и полюсов передаточных функций.

Масштаб, число точек и другие параметры изменяются с помощью панели - меню Графики|Параметры. Масштаб в сторону укрупнения может быть изменен также с помощью “резиновой рамки”, т.е. растягиванием прямоугольника на плоскости графиков или на оси частот с помощью мыши при нажатых кнопке мыши и клавише [Ctrl].

На рис.1.6 изображены амплитудно-фазовые частотные характеристики номинальной и текущей систем. Показан пример оцифровки точки одной из характеристик (рис.1.7).

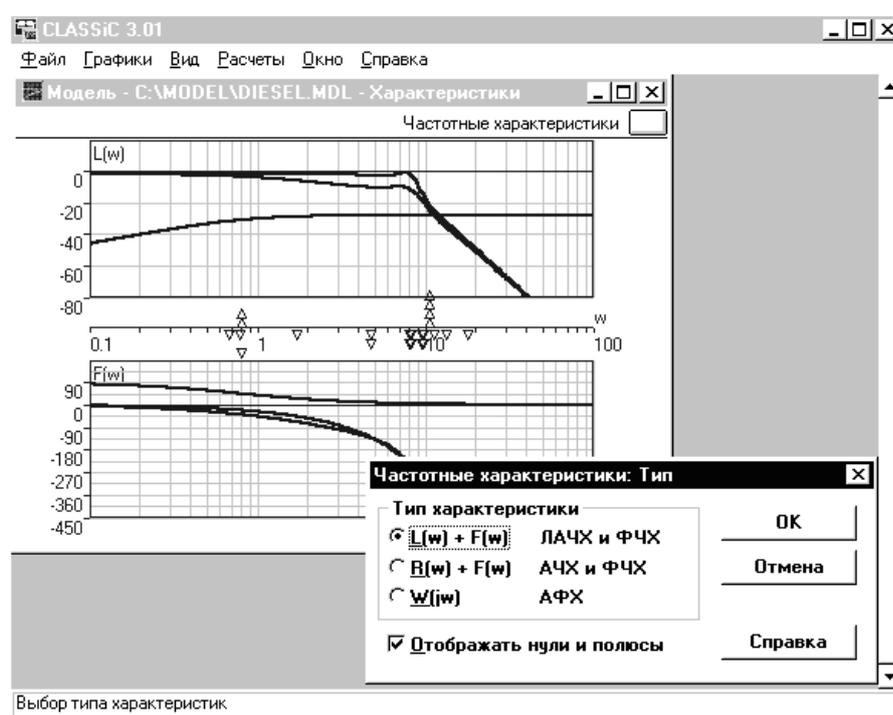


Рис.1.6. Логарифмические частотные характеристики и панель выбора типа характеристик.

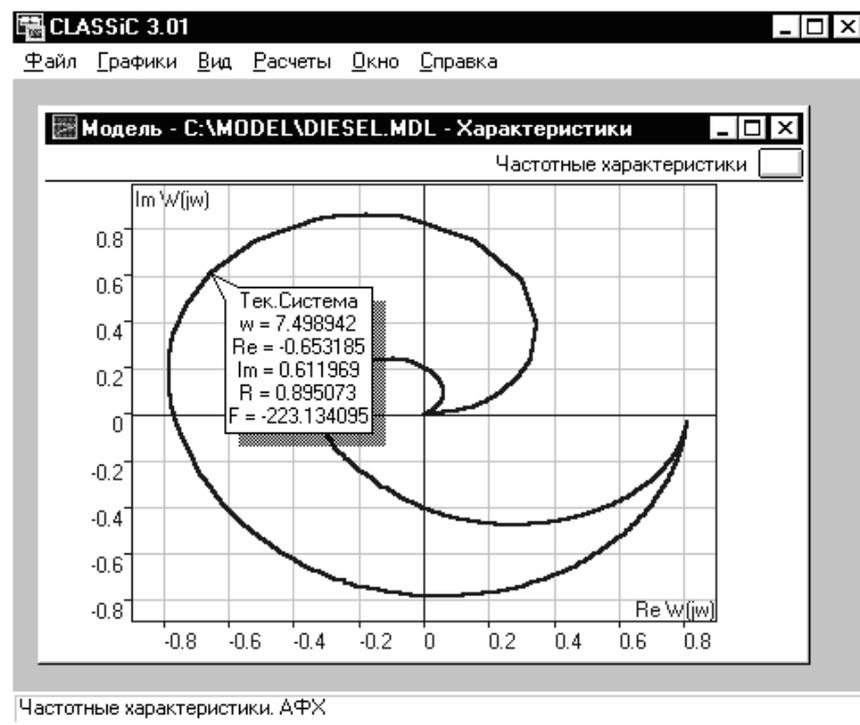


Рис.1.7. Амплитудно-фазовые характеристики.

При вызове панели – меню Графики|Показатели качества (сводка) – определяются и отображаются в текстовой форме те показатели качества из нижеследующих, которые могут быть определены с учетом особенностей частотных характеристик:

- запас по фазе;
- частота среза;
- запас по модулю;
- частота π ;
- показатель колебательности;
- частота резонанса.

Перечисленные показатели качества определяются вне зависимости от типа выбранных для отображения частотных характеристик.

1.2.2 Режим "АНАЛИЗ".

Переход в режим осуществляется по <F9>. После завершения процессов расчета ПФ и характеристик системы по выбранной паре "вход-выход" на экране появляются четыре окна с характеристиками. Любой из графиков может быть выведен на полный экран: - размещение нулей и полюсов на комплексной плоскости <Home>; - логарифмические ЧХ <End>; переходная характеристика <PgUp>; - амплитудно-фазовая ЧХ <PgDn>. Передаточная функция системы выводится при нажатии <F3>. Для просмотра коэффициентов полиномов числителя и знаменателя используются стрелки - <PgUp> ,

<PgDn>. При отображении характеристики на полном экране имеются дополнительные возможности ее изучения и количественной оценки: оцифровка значений абсцисс и ординат любой точки <F3>; выделение фрагмента и редактирование диапазонов <F4>; удвоение числа рассчитанных точек <F5>; вве-

дение координатной сетки <F6> и др.

Возможен анализ характеристик любого звена (соответствующий пункт меню "Расчеты").

В режиме "Анализ", если ранее было помечено варьируемое звено, можно исследовать изменение характеристик системы, вызванных вариациями параметров или структуры звена <F5>. После изменения параметров звена или структуры и параметров звена по <Enter> на экран выводятся характеристики номинальной ("исходной") и варьированной ("текущей") систем.

1.2.3 Режим. "ОПТИМИЗАЦИЯ".

В режиме "Оптимизация" решаются задачи параметрического синтеза по функционалам, составленным из интегральных квадратичных оценок. При желании в функционал может быть добавлена установившаяся ошибка системы. Звено, в пространстве параметров которого оптимизируется система, объявляется варьируемым.

После нажатия клавишей <Shift-F9> на экране появляются четыре окна: "Структура системы", где изображен фрагмент структурной схемы системы с варьируемым звеном; "Критерий", где приведен вид обобщенного функционала и поле для задания его весовых коэффициентов; "Числитель" и "Знаменатель", где назначаются варьируемые коэффициенты полиномов числителя и/или знаменателя ПФ варьируемого звена и задаются границы диапазонов их изменения в процессе оптимизации. Переход между активными окнами экрана осуществляется циклически <Tab>, а переходы между полями коэффициентов - стрелками.

Варьируемые коэффициенты полиномов ПФ помечаются клавишей <F3>; исключение коэффициента из числа варьируемых <Ctrl-F3>.

В режиме "Оптимизация" предусмотрена процедура "Сечения", использование которой позволяет получить на экране график зависимости функционала от значений варьируемых параметров системы. Если назначен один варьируемый параметр, то зависимость представляется графиком на плоскости. При двух варьируемых параметрах программа выводит на экран поверхность в трехмерном пространстве. Если число варьируемых параметров более двух, то, поочередно фиксируя некоторые из них, можно получать на экране различные сечения многомерной поверхности. В любой точке поверхности, указанной маркером, можно провести анализ соответствующей текущей системы <F9>.

Поскольку при построении поверхности отклика отображаются только точки, принадлежащие области устойчивости, границы последней хорошо видны на экране.

Может быть получен график кривой или поверхности, где помечается глобальный минимум функционала качества.

Границы параметров по умолчанию устанавливаются в 1000 раз меньше и больше начального значения, а диапазоны делятся на 20 интервалов в логарифмическом масштабе. Границы могут редактироваться пользователем. Перемещая маркер, можно выбрать любую точку и провести анализ соответствующей текущей системы <F9>.

Поверхность может быть отображена в любом ракурсе, причем вид сверху дает области устойчивости на плоскости параметров. Здесь выясняется существование решения задачи синтеза.

Программа позволяет автоматически найти минимум функционала <F5>. В процессе оптимизации на экран выводятся начальное и текущее значения функционала, а также текущие значения варьируемых параметров.

1.2.4 Режим "ЧАСТОТНЫЙ СИНТЕЗ".

В этом режиме решаются задачи формирования желаемых частотных характеристик следящих систем или систем стабилизации неустойчивых (сильно колебательных) объектов, а также определяются частотные характеристики и передаточные функции звеньев коррекции.

Звено коррекции необходимо объявить варьируемым. На первой итерации синтеза начальный оператор звена коррекции целесообразно задать $W_k(S)=1/1$ (для последовательной коррекции) или $W_k(S)=0/1$ (для коррекции местной обратной связью).

После нажатия клавишей <Alt-F9> на экране отображаются логарифмические частотные характеристики разомкнутых исходной и текущей систем, фазовая частотная характеристика текущей системы и логарифмическая частотная характеристика звена коррекции.

В качестве основного приема изменения передаточных функций и частотных характеристик системы с целью получения желаемых характеристик используется домножение ее передаточной функции в разомкнутом состоянии на элементарные операторы: $(s+a)/s$; $s/(s+a)$; $(s+a)/a$; $a/(s+a)$. Перемещая маркер частоты вдоль исходной ЛАЧХ и устанавливая его в выбранную точку, до или после которой должен быть изменен наклон асимптоты частотной характеристики, нажимаем клавишу <Home>/<End> (изменяются наклоны всех асимптот левее выбранной точки) или <PgUp>/<PgDn> (изменяются наклоны асимптот правее этой точки). В процессе формирования желаемой ЛАЧХ на оси частот отображаются вводимые в передаточную функцию исходной системы нули и/или полюсы.

Ранее имеющиеся в передаточной функции нули или полюсы могут быть удалены путем их компенсации (образования диполей) или применением процедуры удаления всех корней, модули которых больше или меньше значения заданной частоты $\omega = a$ (на которой в данный момент установлен маркер).

Контрольные вопросы.

1. Под какой операционной системой работает программа CLASSIC?
2. На каком языке программирования написана программа CLASSIC?
3. Что происходит при нажатии клавиши F1?

При нажатии какой клавиши происходит возврат в предыдущее состояние программы?

При нажатии какой клавиши происходит активизация системы меню?

При нажатии какой клавиши происходит в режиме "Ввод/редактирование" циклический переход между окном структуры системы и окном текущего звена?

При нажатии какой клавиши происходит в режиме "Ввод/редактирование" переход к редактированию числителя или знаменателя передаточной функции.

8. Что выводится на экран в режиме "Анализ" при нажатии F5?

9. При нажатии какой клавиши (комбинации клавиш) происходит в режиме "Ввод/редактирование" вхождение в режим проведения связей в окне структуры?

10. С помощью чего проводятся связи?

11. Что следует нажать в режиме "Ввод/редактирование" для удаления любого текущего звена вместе со связями?

12. При нажатии какой клавиши происходит в режиме "Ввод/редактирование" объявление любого звена варьируемым?

13. При нажатии какой клавиши происходит осуществляется переход в режим "Анализ"?

14. При нажатии какой клавиши происходит в режиме "Ввод/редактирование" переход к редактированию последующего (старшего) или предыдущего (младшего) коэффициента полинома?

Лабораторное занятие 2

Исследование характеристик типовых динамических звеньев систем автоматического регулирования.

Цель работы: Исследовать типовые динамические звенья.

Задание: Построить модели типовых звеньев и провести исследование частотных характеристик. Исследовать поведение звеньев при различных внешних воздействиях. Снять переходную характеристику.

2.1 Передаточные функции и переходные характеристики типовых динамических звеньев.

2.1.1 Усилительное звено.

Это такое динамическое звено, переходный процесс в котором описывается уравнением

$$y = k \cdot x(t),$$

где k — коэффициент передачи, или коэффициент усиления звена.

Усилительное звено считается безынерционным, что является известной идеализацией, допустимой во многих практических случаях. Его передаточная функция будет

$$W(s) = \frac{y(s)}{x(s)} = k.$$

Соответствующий усилительному звену переходный процесс представлен на рисунке 2.1

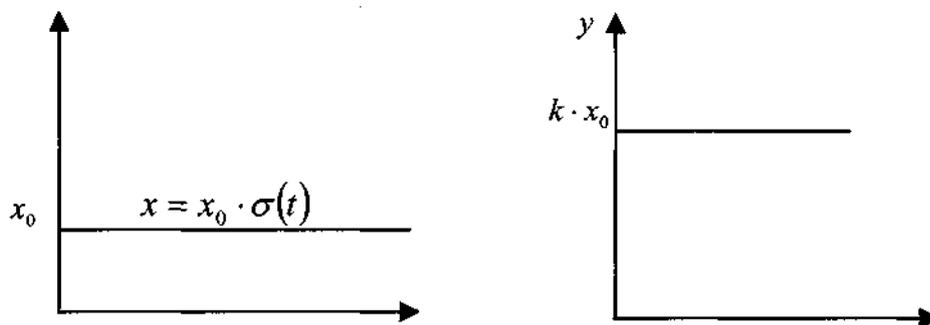


Рисунок 2.1 - Переходная характеристика усилительного звена.

2.1.2 Интегрирующее звено.

Это динамическое звено, переходный процесс в котором описывается дифференциальным уравнением вида

$$y'(t) = kx(t),$$

т. е. такое звено, в котором выходная величина пропорциональна интегралу от входной

$$y = k \int_0^t x dt,$$

При нулевых начальных условиях, когда $y(0) = 0$ и $x = x_0 \sigma(t)$, в пространстве изображений исходное дифференциальное уравнение превращается в операционное $sy(s) = kx(s)$.

Отсюда находим передаточную функцию интегрирующего звена

$$W(s) = \frac{y(s)}{x(s)} = \frac{k}{s} = \frac{1}{Ts},$$

где $T = k^{-1}$ — постоянная интегрирования.

Нам теперь известны передаточная функция и изображение возмущающей функции: $x(s) = x_0/s$. Значит, изображение функции-оригинала, описывающей переходный процесс в интегрирующем звене, будет

$$y(s) = W(s)x(s) = \frac{k}{s} \cdot \frac{x_0}{s} = \frac{kx_0}{s^2}.$$

Это табличное изображение, поэтому сразу имеем

$$y(t) = kx_0 t.$$

Переходный процесс в интегрирующем звене приведён на рисунке 2.2.

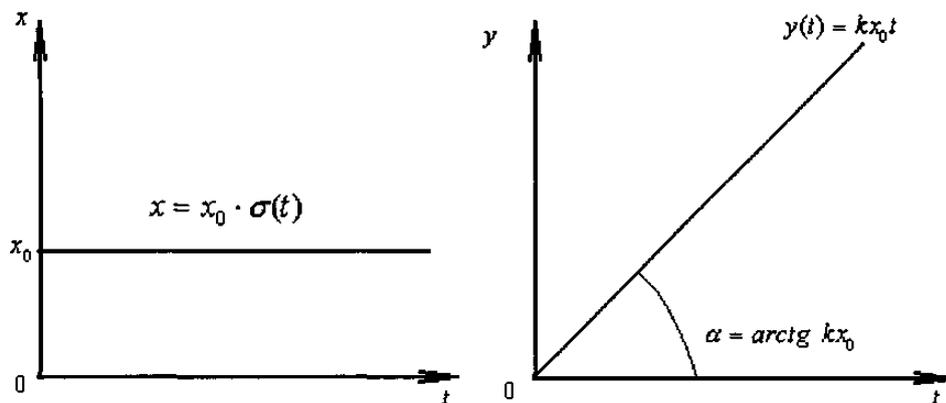


Рисунок 2.2 - Переходная характеристика интегрирующего звена.

Угол наклона прямой переходного процесса, очевидно равен $\alpha = \text{arctg } kx_0$.

2.1.3 Инерционное (апериодическое) звено первого порядка.

Инерционным звеном первого порядка, или апериодическим звеном первого порядка, называется такое динамическое звено, в котором переходный процесс описывается линейным дифференциальным уравнением первого порядка с постоянными коэффициентами

$$Ty'(t) + y(t) = kx(t),$$

где T — постоянная времени апериодического звена; k — коэффициент передачи.

$$Ts y(s) + y(s) = kx(s).$$

Отсюда находим выражение для передаточной функции

$$W(s) = \frac{y(s)}{x(s)} = \frac{k}{Ts + 1}.$$

Изображение переходного процесса будет

$$y(s) = W(s)x(s) = \frac{k}{Ts+1} \frac{x_0}{s}.$$

Снова имеем табличное изображение. Ему соответствует в пространстве оригиналов функция действительного переменного:

$$y(t) = kx_0 \left(1 - e^{-\frac{t}{T}} \right).$$

При известных значениях k, x_0 и T получаем график переходного процесса, характер которого для различных T условно показан на рисунке 2.3. Постоянной времени апериодического звена первого порядка называют время от начала переходного процесса $t=0$ до момента времени, когда выходная величина достигает значения $y = 0,63 kx_0$, где kx_0 — установившееся значение при $t = \infty$.

Величина $T = \text{const}$, и ее называют постоянной времени, так как расстояние между абсциссами точки касания касательной к графику кривой переходного процесса и точки ее пересечения с линией установившегося значения $y = kx_0$ остается неизменным, независимо от места проведения касательной. Переходный процесс считается закончившимся через время $t=3T$. При больших значениях времени истинное значение выходной величины отличается от установившегося значения менее чем на 5%. Сказанное поясняется на рисунке 2.3 для графика с $T = T_1$.

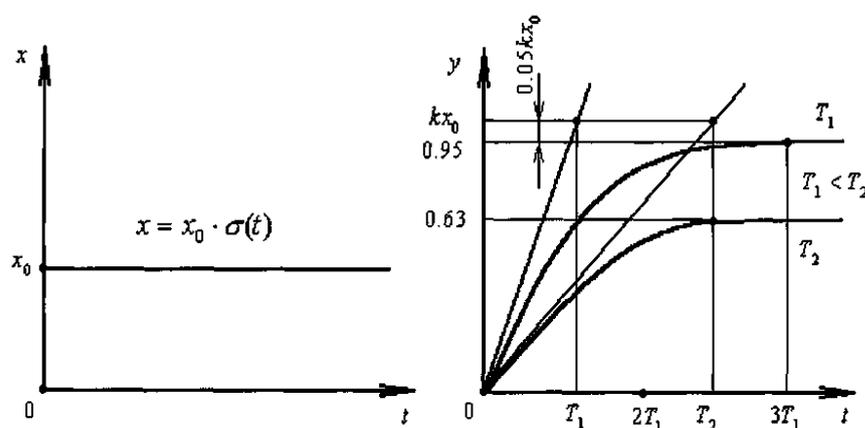


Рисунок 2.3 - Переходная характеристика апериодического (инерционного) звена первого порядка.

2.1.4 Дифференцирующее звено (идеальное и реальное).

Идеальным дифференцирующим звеном называется такое звено, переходный процесс в котором описывается дифференциальным уравнением

$$y(t) = kx'(t),$$

т. е. такое звено, в котором выходная величина пропорциональна производной возмущающей функции. В операторной форме для нулевых начальных условий имеем

$$y(s) = ksx(s).$$

Отсюда передаточная функция идеального дифференцирующего звена

$$W(s) = \frac{y(s)}{x(s)} = ks,$$

и изображение переходного процесса при скачкообразном измерении входной величины будет

$$y(s) = W(s)x(s) = ks \frac{x_0}{s} = kx_0.$$

Нетрудно видеть, что в пространстве оригиналов такому изображению соответствует оригинал, полученный с помощью δ -функции Дирака:

$$y(t) = k \cdot x_0 \delta(t).$$

Полученный результат согласуется с физическим смыслом математической операции дифференцирования: так как входная величина в момент $t = 0$ изменяется скачкообразно, скорость ее изменения (производная) бесконечна: при $t = 0$ скорость изменения нулевая.

Таким образом, выходная величина идеального дифференцирующего звена в момент $t = 0$ имеет бесконечную амплитуду; в другие моменты выходная величина равна нулю. Однако практически идеальное звено получить затруднительно и для реальных дифференцирующих звеньев передаточная функция может быть равна

$$W(s) = \frac{kTs}{Ts + 1}.$$

Такая передаточная функция реализуется, например, схемой представленной на рисунке 2.4. Действительно, из электротехники известно, что мгновенное значение напряжения U_{BX} равно сумме падений напряжений на элементах последовательного участка цепи:

$$U_{BX} = \frac{1}{c} \int_0^t i dt + iR_1 + iR_2,$$

где c — емкость; i — мгновенное значение тока в цепи; R_1 и R_2 — активные сопротивления; $iR_2 = U_{вых}$ — мгновенное значение выходного напряжения.

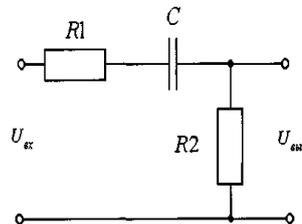


Рисунок 2.4 - Электрическая схема реализации реального дифференцирующего звена.

Запишем это уравнение в операторной форме

$$U_{BX}(s) = \frac{1}{cs} \cdot I(s) + I(s) \cdot (R_1 + R_2);$$

$$c \cdot s \cdot R_2 \cdot U_{BX}(s) = (1 + c \cdot s \cdot (R_1 + R_2)) \cdot R_2 \cdot I(s).$$

Пусть $U_{BX}(s) = x(s)$; $I(s) \cdot R_2 = U_{вых}(s) = y(s)$, тогда по определению имеем

$$W(s) = \frac{cR_2s \frac{R_1 + R_2}{R_1 + R_2}}{1 + cs(R_1 + R_2)} = \frac{kTs}{Ts + 1},$$

где $k = \frac{R_2}{R_1 + R_2}$ - коэффициент передачи звена; $T = c(R_1 + R_2)$ - постоянная времени

Теперь несложно получить изображение переходного процесса и сам процесс:

$$y(s) = W(s)x(s) = \frac{kTs}{Ts + 1} \frac{x_0}{s}.$$

Снова имеем табличное изображение, поэтому сразу находим искомый оригинал

$$y(t) = kx_0 e^{-\frac{t}{T}}$$

График переходного процесса реально дифференцирующего звена показан на рисунке 2.5.

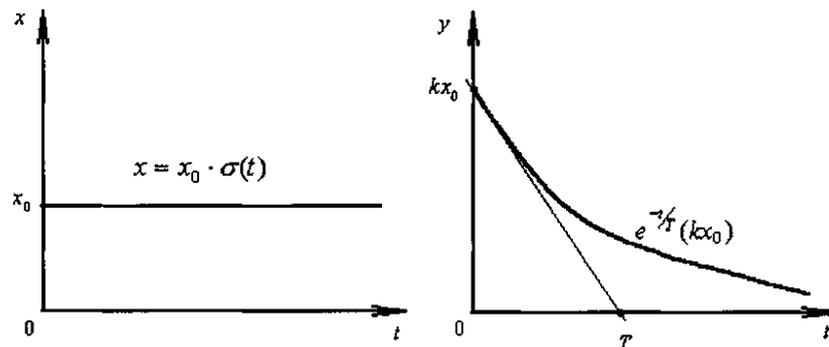


Рисунок 2.5 - Переходная характеристика реально дифференцирующего звена.

Анализ передаточной функции показывает, что на базе реального дифференцирующего звена можно получить два уже известных нам типа звеньев:

- 1) идеальное дифференцирующее звено, если $k \rightarrow \infty$, $T \rightarrow \infty$ при условии, что произведение $kT = \text{const}$;
- 2) усилительное (безынерционное) звено, если $T \rightarrow 0$ при условии, что $k \neq 0$.

Реальное дифференцирующее звено занимает, как мы видим, промежуточное положение между этими двумя. Кроме того, различают дифференцирующие звенья первого и второго порядков.

Дифференцирующим звеном первого порядка называется такое звено, переходный процесс в котором описывается дифференциальным уравнением вида

$$y(t) = k \left[T \frac{dx}{dt} + x(t) \right].$$

Очевидно, его передаточная функция записывается в виде

$$W(s) = k(Ts + 1)$$

Дифференцирующим звеном второго порядка называется такое звено, переходный процесс в котором описывается дифференциальным уравнением

$$y(t) = k \left[T^2 \frac{d^2 x}{dt^2} + 2\lambda T \frac{dx}{dt} + x(t) \right],$$

где параметр $\lambda < 1$.

Его передаточная функция записывается в виде

$$W(s) = k(T^2 s^2 + 2\lambda T s + 1).$$

Для параметра $\lambda > 1$ дифференцирующее звено второго порядка вырождается в два дифференцирующих звена первого порядка, соединенных последовательно.

2.1.5 Звено с чистым запаздыванием.

Для учета люфта в механических системах передачи, учета конечной скорости прохождения сигнала со входа реального элемента на его выход, а также специальных задержек в структурные схемы АСР вводят так называемые звенья с чистым запаздыванием τ , переходный процесс в которых определяется уравнением

$$y(t) = x(t) \cdot \sigma(t - \tau),$$

где $\sigma(t - \tau)$ — известная нам смещенная единичная функция Хевисайда.

Зная, что $\sigma(t - \tau) = e^{-s\tau}$ получим

$$y(s) = x(s) \cdot e^{-s\tau},$$

откуда

$$W(s) = \frac{y(s)}{x(s)} = e^{-s\tau}.$$

Переходный процесс в звене с чистым запаздыванием τ находим в виде

$$y(t) = x_0 \sigma(t - \tau).$$

Рисунок 2.6 поясняет полученный результат.

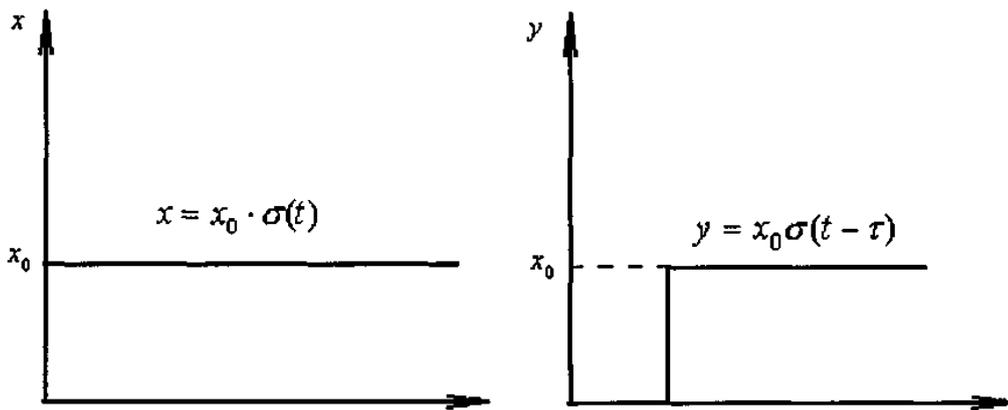


Рисунок 2.6 - Переходная характеристика звена с чистым запаздыванием.

2.1.6 Инерционное звено второго порядка.

Инерционным звеном второго порядка называется такое динамическое звено, в котором переходный процесс описывается линейным дифференциальным уравнением второго порядка с постоянными коэффициентами:

$$T_2^2 y''(t) + T_1 y'(t) + y(t) = kx(t).$$

где $y(t)$ — искомая функция; T_1, T_2 — постоянные коэффициенты с размерностью времени; $x(t) = X_0 \sigma(t)$ — возмущающая функция; k — коэффициент передачи звена.

Для упрощения записи разделим уравнение на T_2^2 и введем обозначения:

$$a = T_1 T_2^{-2}; b = 1 \cdot T_2^{-2} :$$

$$y''(t) + a \cdot y'(t) + b \cdot y(t) = bkx(t).$$

Данное уравнение для $t=0$ можно решить классическими методами математического анализа. Однако на основе операционного метода решение ускоряется. С другой стороны, в учебных целях продемонстрируем использование идей операционного исчисления в более сложном по сравнению с предыдущими случаями.

Итак, при нулевых начальных условиях : $y(0)=0; x(0)=x_0; y'(0)=0$. Тогда в пространстве изображения получим операционное уравнение

$$s^2 y(s) + a s y(s) + b y(s) = bkx(s).$$

С учетом принятых обозначений находим передаточную функцию инерционного звена второго порядка известным образом:

$$W(s) = \frac{y(s)}{x(s)} = \frac{k}{T_2^2 s^2 + T_1 s + 1} = \frac{bk}{s^2 + as + b}.$$

Значит, изображение искомой функции-оригинала можно представить в виде

$$y(s) = W(s)x(s) = \frac{bkx_0}{s(s^2 + as + b)}.$$

Сама функция-оригинал, соответствующая этому изображению, имеет различный характер, зависящий от корней характеристического уравнения: $s^2 + as + b$, решение которого дает

$$s_{1,2} = -\frac{a}{2} \pm \sqrt{\frac{a^2}{4} - b} = -\frac{T_1}{2T_2^2} \pm \sqrt{\frac{T_1^2}{T_2^2} - \frac{1}{T_2^2}}.$$

Отсюда видно, что в конечном результате вид функции-оригинала определяется соотношением коэффициентов $\frac{T_1}{T_2}$ в исходном дифференциальном уравнении. При этом выделяют три различных случая, представляющих практический интерес.

2.1.6.1 Аперiodическое инерционное звено второго порядка.

Оно имеет место, если указанное соотношение больше двух: $\frac{T_1}{T_2} > 2$.

Тогда можно показать, что корни характеристического уравнения отрицательные, вещественные, разные. Обозначим: $s_1 = -\alpha_1$; $-s_2 = -\alpha_2$. С учетом этого исходное изображение функции-оригинала (2.1) преобразуется в вид

$$y(s) = \frac{bkx_0}{s(s + \alpha_1)(s + \alpha_2)}.$$

Восстановить оригинал можно или на основе второй теоремы разложения, или непосредственно из таблицы:

$$y(t) = bkx_0 \left(\frac{1}{\alpha_1 \alpha_2} + \frac{1}{\alpha_2 - \alpha_1} \left(\frac{1}{\alpha_2} e^{-\alpha_2 t} - \frac{1}{\alpha_1} e^{-\alpha_1 t} \right) \right),$$

однако по теореме Виета $b = \alpha_1 \cdot \alpha_2$, поэтому

$$y(t) = y(t) = kx \left[1 + \left(\frac{\alpha_1}{\alpha_2 - \alpha_1} e^{-\alpha_2 t} - \frac{\alpha_2}{\alpha_2 - \alpha_1} e^{-\alpha_1 t} \right) \right].$$

Соответствующие переходные процессы для $2 \leq \frac{T_1}{T_2}$ условно показаны на рисунке 2.7.

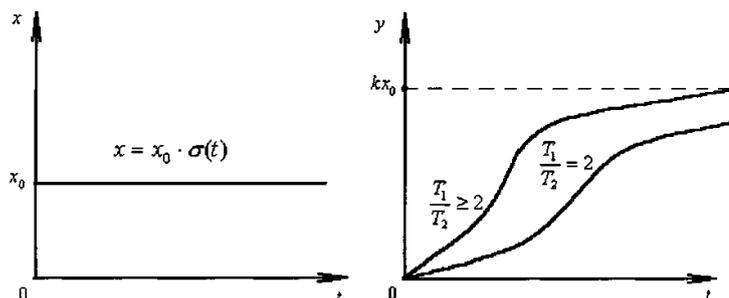


Рисунок 2.7 Переходная характеристика аperiodического звена второго порядка.

2.1.6.2 Колебательно-затухающее инерционное звено второго ряда.

Оно имеет место, если

$$0 < \frac{T_1}{T_2} < 2.$$

Ясно, что при этом корни характеристического уравнения будут комплексно-сопряженными: $s_{1,2} = -\alpha \pm j\omega$, где $\alpha = \frac{a}{2} = \frac{T_1}{2T_2}$; $\omega = \sqrt{b - \frac{a^2}{4}} = \sqrt{\frac{1}{T_2^2} - \frac{T_1^2}{4T_2^4}}$.

Соответствующий график переходного процесса показан на рисунке 2.8, где ω - круговая частота колебаний; $T = 2\pi / \omega$ - период колебаний.

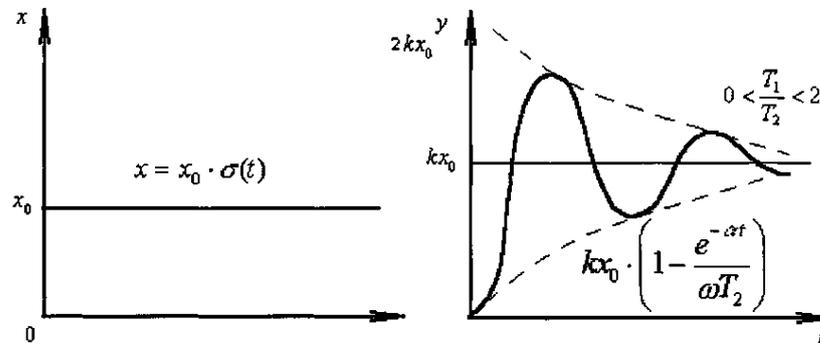


Рисунок 2.8 - Переходная характеристика колебательно - затухающего инерционного звена второго порядка

2.1.6.3 Колебательно-незатухающее инерционное звено второго порядка.

Оно имеет место в том случае, когда $T_1 = 0$. Тогда $a = 0$, $\omega = 1/T_2$. Подставив эти значения в ранее полученный результат (2.2), сразу получим искомое решение

$$y(t) = kx_0 \left(1 - \cos \frac{t}{T_2} \right).$$

Колебательно-незатухающий переходный процесс в инерционном звене второго порядка, когда корни характеристического уравнения чисто мнимые, показан на рисунке 2.9.

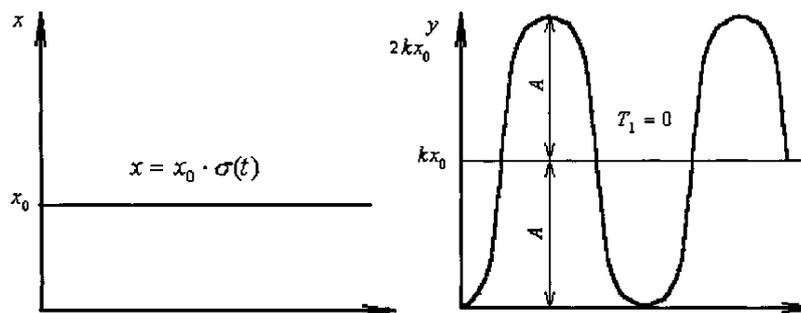


Рисунок 2.9 - Переходная характеристика колебательно - незатухающего инерционного звена второго порядка.

2.1.7 Частотные характеристики динамических звеньев.

Для исследования динамических режимов работы САР широко используют так называемые частотные методы, позволяющие с достаточной степенью точности оценить как устойчивость, так и качество переходного процесса регулирования. Частотные методы анализа и синтеза систем управления, в основном, используют модели в форме передаточных функций и частотных характеристик, связывающих изображения переменных по Лапласу и Фурье.

Частотные характеристики элементов и систем представляют собой зависимости между входными и выходными гармоническими сигналами всех частот в установившихся режимах.

Частотные характеристики получаются из передаточной функции при рассмотрении только чисто мнимых значений комплексного аргумента, т.е. при подстановке $s = j\omega, \omega \geq 0$:

$$W(s)|_{s=j\omega} = W(j\omega) = A(\omega) \exp(j\varphi(\omega)).$$

Здесь $A(\omega)$ - амплитудная, а $\varphi(\omega)$ - фазовая частотные характеристики. Часто используются логарифмические амплитудные частотные характеристики (ЛАЧХ).

$$L(\omega) = 20 \lg A(\omega).$$

2.1.8 Временные характеристики динамических звеньев.

Временные характеристики вводятся в теорию автоматического управления с целью изучения поведения автоматических систем во временной области, когда о свойствах элемента (системы) можно судить на любом этапе управления по его реакции на поступающие воздействия. В принципе эту реакцию всегда можно найти, решив дифференциальное уравнение. Однако для практических систем сделать это трудно по двум причинам: во-первых, порядок уравнения обычно высокий и, во-вторых, воздействия, входящие в правую часть уравнения или сложные, или случайные функции времени. В таких условиях решить дифференциальное уравнение, даже если оно линейное, трудно.

Если же воздействие будет представлять собой простейшую аналитическую функцию, для которой дифференциальное уравнение легко решить, то задача исследования автоматических систем во временной области существенно упрощается. Это особенно удобно для типовых звеньев и их простейших соединений, описываемых уравнениями не выше второго порядка. В качестве воздействий такого типа в теории автоматического управления принимают *единичный импульс* и *единичную функцию* (единичный скачок, единичный перепад, скачок положения), описываемые соответственно выражениями:

$$\delta(t) = \begin{cases} \infty, & \text{при } t = 0; \\ 0, & \text{при } t \neq 0; \end{cases} \quad 1(t) = \begin{cases} 1, & \text{при } t \geq 0; \\ 0, & \text{при } t < 0. \end{cases}$$

Решение дифференциального уравнения элемента (системы) для воздействия типа единичного импульса при нулевых начальных условиях называют *импульсной* (или *импульсной переходной*) *функцией*, а ее графическое изображение – *импульсной характеристикой* (ИХ). Иными словами, импульсная функция – это реакция элемента (системы) на единичный импульс при нулевых начальных условиях. Ее обозначают через $K(t)$.

Решение дифференциального уравнения элемента (системы) для воздействия типа единичной функции при нулевых начальных условиях называют *переходной функцией*, а ее графическое изображение – *переходной характеристикой* (ПХ). Иными словами, переходная функция – это реакция элемента (системы) на единичную функцию при нулевых начальных условиях. Ее обозначают через $h(t)$.

Импульсную и переходную функции (характеристики) называют *временными характеристиками* (ВХ). Если известна импульсная функция $K_{yx}(t)$, то реакцию на произвольное воздействие находят с помощью интеграла свертки

$$y(t) = \int_0^t x(\tau) K_{yx}(t - \tau) dt.$$

Импульсная функция имеет нулевое значение до момента приложения воздействия, т. е. $K_{yx}(t - \tau) = 0$ при $t < \tau$. Это условие называют *условием физической реализуемости*: реакция на воздействие не может появиться раньше, чем это воздействие будет приложено к системе. С учетом условий физической реализуемости интеграл свертки для стационарных систем представляют в следующем виде:

$$y(t) = \int_0^{\infty} x(\tau) K_{yx}(t - \tau) dt.$$

Реакцию на воздействие произвольной формы можно найти и с помощью переходной функции, но такой прием (использование интеграла Дюамеля) в теории автоматического управления практически не применяется. В то же время сама переходная функция широко используется при исследованиях и эксплуатации автоматических систем, так как легко определяется экспериментально.

Задания к лабораторной работе № 2

Задание 2.1. Исследовать безынерционное (усилительное) звено с передаточной функцией $W(s) = K$.

Данные по вариантам заданы в таблице 2.1.

Таблица 2.1

№ варианта	Коэффициент передачи	Вопросы	Данные к вопросам
1	$K = 10$	1. На сколько дБ изменится значение ЛАЧХ, если коэффициент передачи K а) увеличится в n раз б) уменьшится в m раз. Как влияет значение " K " на ЛФЧХ и переходную характеристику? 2. Исследовать поведение звена и вид его переходной характеристики при различных внешних воздействиях. 3. Чему равен коэффициент передачи K , если значение ЛАЧХ равно A дБ?	$n = 10 \quad m = 2 \quad A = 20$
2	$K = 2$		$n = 15 \quad m = 5 \quad A = 40$
3	$K = 20$		$n = 7 \quad m = 4 \quad A = 30$
4	$K = 7$		$n = 5 \quad m = 7 \quad A = 50$
5	$K = 16$		$n = 20 \quad m = 4 \quad A = 25$
6	$K = 8$		$n = 12 \quad m = 4 \quad A = 28$
7	$K = 9$		$n = 6 \quad m = 2 \quad A = 32$
8	$K = 14$		$n = 6 \quad m = 2 \quad A = 32$
9	$K = 18$		$n = 10 \quad m = 3 \quad A = 42$
10	$K = 15$		$n = 8 \quad m = 4 \quad A = 36$
11	$K = 6$		$n = 20 \quad m = 5 \quad A = 24$
12	$K = 12$		$n = 18 \quad m = 4 \quad A = 60$
13	$K = 13$		$n = 3 \quad m = 5 \quad A = 50$
14	$K = 17$		$n = 2 \quad m = 4 \quad A = 28$
15	$K = 11$		$n = 6 \quad m = 2 \quad A = 34$
16	$K = 2,6$		$n = 5 \quad m = 4 \quad A = 25$
17	$K = 3,2$		$n = 8 \quad m = 3 \quad A = 40$
18	$K = 4,8$		$n = 6 \quad m = 2 \quad A = 45$
19	$K = 5$		$n = 3 \quad m = 4 \quad A = 40$
20	$K = 6,2$		$n = 2 \quad m = 5 \quad A = 20$
21	$K = 3,4$		$n = 5 \quad m = 4 \quad A = 40$
22	$K = 4,6$		$n = 4 \quad m = 6 \quad A = 30$
23	$K = 2,8$		$n = 10 \quad m = 3 \quad A = 60$
24	$K = 4,2$		$n = 6 \quad m = 2 \quad A = 40$
25	$K = 3,8$		$n = 7 \quad m = 5 \quad A = 35$

Задание 2.2. Исследовать интегрирующее звено с передаточной функцией $W(s) = \frac{1}{TS} = \frac{K}{s}$.

Таблица 2.2

№ варианта	Постоянная интегрирования, коэффициент передачи	Вопросы	Данные к вопросам
1	$T = 0,5$	1. Чему равны значения ЛАЧХ – $L(\omega)$ и ЛФЧХ – $\varphi(\omega)$ на частоте $\omega = K = \frac{1}{T}$? 2. Чему равно значение пере-	$\epsilon = 1 \quad B = 10 \quad n = 5$
2	$T = 0,2$		$\epsilon = 2 \quad B = 5 \quad n = 7$
3	$T = 0,8$		$\epsilon = 3 \quad B = 8 \quad n = 10$
4	$T = 1,2$		$\epsilon = 1 \quad B = 10 \quad n = 8$
5	$T = 1,5$		$\epsilon = 3 \quad B = 6 \quad n = 12$
6	$T = 0,3$		$\epsilon = 2 \quad B = 9 \quad n = 11$

7	$T = 0,4$	<p>ходной характеристики $h(t)$ при $t = B(c)$?</p> <p>3. Как изменяются переходная характеристика, ЛАЧХ и ЛФЧХ, если постоянная интегрирования увеличится в n раз, уменьшится в n раз?</p> <p>4. Чему равны коэффициент передачи K и постоянная интегрирования T на частоте $\omega = b(\frac{1}{c})$?</p>	$\epsilon = 1 \quad B = 7 \quad n=6$
8	$T = 0,6$		$\epsilon = 4 \quad B = 12 \quad n=4$
9	$T = 0,7$		$\epsilon = 3 \quad B = 11 \quad n=13$
10	$T = 0,9$		$\epsilon = 4 \quad B = 4 \quad n=14$
11	$T = 1,1$		$\epsilon = 3 \quad B = 10 \quad n=15$
12	$T = 1,3$		$\epsilon = 4 \quad B = 20 \quad n=12$
13	$T = 1,4$		$\epsilon = 2 \quad B = 10 \quad n=11$
14	$T = 1,6$		$\epsilon = 3 \quad B = 8 \quad n=13$
15	$T = 1,8$		$\epsilon = 5 \quad B = 11 \quad n=9$
16	$T = 0,35$		$\epsilon = 3 \quad B = 14 \quad n=10$
17	$T = 0,45$		$\epsilon = 4 \quad B = 15 \quad n=8$
18	$T = 0,55$		$\epsilon = 5 \quad B = 18 \quad n=7$
19	$T = 0,25$		$\epsilon = 7 \quad B = 12 \quad n=6$
20	$T = 0,75$		$\epsilon = 2 \quad B = 13 \quad n=5$
21	$T = 0,65$		$\epsilon = 9 \quad B = 8 \quad n=18$
22	$T = 0,85$		$\epsilon = 8 \quad B = 14 \quad n=19$
23	$T = 0,82$		$\epsilon = 10 \quad B = 18 \quad n=17$
24	$T = 0,66$		$\epsilon = 4 \quad B = 19 \quad n=9$
25	$T = 0,38$		$\epsilon = 6 \quad B = 16 \quad n=10$

Задание 2.3. Исследовать дифференцирующее звено с передаточной функцией $W(s) = Ts$

Таблица 2.3

№ варианта	Постоянная дифференцирующего звена	Вопросы	Данные к вопросам
1	$T = 10$	<p>1. Как изменится ЛАЧХ – $L(\omega)$ и ЛФЧХ - $\varphi(\omega)$, если параметр T</p> <p>а) увеличится в n раз,</p> <p>б) уменьшится в m раз.</p> <p>3. Как изменится переходная характеристика звена при увеличении (уменьшении) параметра в n раз (m раз)?</p> <p>3. Чему равно значение постоянной T на частоте $\omega = B(\frac{1}{c})$</p>	$n = 3, m = 2, B = 3$
2	$T = 6$		$n = 5, m = 3, B = 4$
3	$T = 8$		$n = 6, m = 4, B = 2$
4	$T = 4$		$n = 2, m = 4, B = 4$
5	$T = 3$		$n = 4, m = 3, B = 3$
6	$T = 7$		$n = 3, m = 7, B = 2$
7	$T = 5$		$n = 2, m = 2, B = 4$
8	$T = 9$		$n = 3, m = 3, B = 3$
9	$T = 0,5$		$n = 10, m = 5, B = 2$
10	$T = 12$		$n = 7, m = 2, B = 4$
11	$T = 15$		$n = 2, m = 5, B = 3$
12	$T = 16$		$n = 4, m = 4, B = 4$
13	$T = 14$		$n = 3, m = 2, B = 2$
14	$T = 0,8$		$n = 8, m = 4, B = 3$
15	$T = 2$		$n = 6, m = 4, B = 4$
16	$T = 0,5$		$n = 5, m = 2, B = 3$
17	$T = 1,8$		$n = 3, m = 4, B = 8$
18	$T = 2,4$		$n = 6, m = 3,5, B = 9,5$
19	$T = 1,6$		$n = 4,5, m = 2,5, B = 2$
20	$T = 1,2$		$n = 6,5, m = 4,5, B = 4,5$
21	$T = 2,2$		$n = 8,5, m = 3,2, B = 3,8$

22	$T = 2,6$		$n = 3,4, m = 2,6,$ $B = 4,2$
23	$T = 3,2$		$n = 2,8, m = 3,4,$ $B = 3,6$
24	$T = 4,2$		$n = 5,4, m = 2,4,$ $B = 5,6$
25	$T = 4,6$		$n = 6,2, m = 3,8,$ $B = 7,6$

Задание 2.4. Исследовать апериодическое звено первого порядка с передаточной функцией вида $W(s) = \frac{K}{Ts+1}$

Таблица 2.4

№ варианта	Параметры	Вопросы	Параметры к вопросам
1	$K=3; T=0,5$	<p>1. Чему равны значения ЛАЧХ – $L(\omega)$ и ЛФЧХ – $\varphi(\omega)$ на частотах $\omega = 1/T; 0,1/T; 10/T$?</p> <p>2. Как отражается на переходной и частотных характеристиках увеличение и уменьшение</p> <p>а) постоянной времени T в A раз?</p> <p>б) коэффициента передачи в n раз?</p> <p>3. Чему равно значение постоянной времени T, при котором для $\omega < 100\text{с}^{-1}$ значение $L(\omega) > -3\text{дБ}$, значение $\varphi(\omega) > -45^\circ$, если $K = 1$?</p> <p>Указание: $L(\omega) = 20\lg W(s) = 20\lg \frac{K}{(Tj\omega+1)}$</p>	$n = 3 \quad A = 5$
2	$K = 4; T = 0,8$		$n = 4 \quad A = 6$
3	$K = 5; T = 1,2$		$n = 5 \quad A = 7$
4	$K = 6; T = 1,0$		$n = 3 \quad A = 6$
5	$K = 7; T = 1,4$		$n = 4 \quad A = 7$
6	$K = 8; T = 1,3$		$n = 5 \quad A = 8$
7	$K = 0,5; T = 0,2$		$n = 10 \quad A = 6$
8	$K = 0,8; T = 0,3$		$n = 6 \quad A = 3$
9	$K = 0,6; T = 0,4$		$n = 7 \quad A = 4$
10	$K = 0,7; T = 0,6$		$n = 2 \quad A = 4$
11	$K = 1; T = 1,5$		$n = 3 \quad A = 10$
12	$K = 4,5; T = 2$		$n = 8 \quad A = 2$
13	$K = 3,5; T = 3$		$n = 9 \quad A = 5$
14	$K = 2,8; T = 4$		$n = 4 \quad A = 7$
15	$K = 5,5; T = 1,8$		$n = 5 \quad A = 3$
16	$K = 6,5; T = 2,5$		$n = 6 \quad A = 8$
17	$K = 7,5; T = 3,2$		$n = 2 \quad A = 10$
18	$K = 8,5; T = 3,4$		$n = 3 \quad A = 9$
19	$K = 4,2; T = 5,2$		$n = 4 \quad A = 8$
20	$K = 4,6; T = 5,6$		$n = 5 \quad A = 7$
21	$K = 4,8; T = 1,2$		$n = 6 \quad A = 6$
22	$K = 3,6; T = 1,6$		$n = 7 \quad A = 5$
23	$K = 2,6; T = 2,2$		$n = 8 \quad A = 4$
24	$K = 3,2; T = 2,4$		$n = 9 \quad A = 3$
25	$K = 3,8; T = 2,8$		$n = 10 \quad A = 2$

Задание 2.5. Исследовать звено второго порядка с передаточной функцией вида

$$W(s) = \frac{K}{T^2 S^2 + 2\xi TS + 1}$$

Таблица 2.5

№ варианта	Параметры К, Т	Вопросы	Данные к вопросу
1	K = 3; T = 1	<p>1. Исследовать звено при различных значениях ξ. Снять переходную и частотные характеристики. Проанализировать движение корней характеристического полинома при изменении ξ.</p> <p>2. Построить график зависимости резонансного пика ЛАЧХ от коэффициента ξ в пределах $0 \leq \xi \leq 1$ с интервалом 0,1 при заданных в варианте К; Т.</p> <p>3. Как изменяется переходная характеристика при увеличении (уменьшении) К в 2 раза?</p>	$\xi = 0; 0,05; 1; 2; -0,3$
2	K = 2; T = 2		$\xi = 0; 0,02; 1; 3; -0,5$
3	K = 4; T = 3		$\xi = 0; 0,03; 1; 4; -0,4$
4	K = 5; T = 4		$\xi = 0; 0,04; 1; 5; -0,2$
5	K = 6; T = 5		$\xi = 0; 0,05; 1; 6; -0,6$
6	K = 2,5; T = 1,5		$\xi = 0; 0,02; 1; 2,5; -0,25$
7	K = 3,5; T = 2,5		$\xi = 0; 0,08; 1; 2,8; -0,35$
8	K = 2,8; T = 1,8		$\xi = 0; 0,13; 1; 3,7; -0,45$
9	K = 3,2; T = 2,2		$\xi = 0; 0,03; 1; 4,2; -0,28$
10	K = 3,4; T = 2,4		$\xi = 0; 0,06; 1; 2,2; -1$
11	K = 2,6; T = 3,2		$\xi = 0; 0,07; 1; 2,4; -0,9$
12	K = 2,4; T = 3,4		$\xi = 0; 0,05; 1; 2,6; -0,7$
13	K = 2,7; T = 3,6		$\xi = 0; 0,02; 1; 3,2; -0,8$
14	K = 2,9; T = 3,9		$\xi = 0; 0,42; 1; 3,3; -0,75$
15	K = 2,3; T = 3,8		$\xi = 0; 0,04; 1; 3,5; -0,65$
16	K = 3,3; T = 3,5		$\xi = 0; 0,02; 1; 4,4; -0,62$
17	K = 4,2; T = 3,3		$\xi = 0; 0,15; 1; 5,2; -0,24$
18	K = 4,5; T = 2,3		$\xi = 0; 0,12; 1; 5,8; -0,32$
19	K = 5,2; T = 4,2		$\xi = 0; 0,14; 1; 2,3; -0,8$
20	K = 5,4; T = 4,8		$\xi = 0; 0,04; 1; 4,3; -0,9$
21	K = 2,2; T = 1,4		$\xi = 0; 0,17; 1; 3,8; -1,2$
22	K = 3,8; T = 1,6		$\xi = 0; 0,06; 1; 4,8; -0,95$
23	K = 5,6; T = 1,2		$\xi = 0; 0,08; 1; 6,2; -1,3$
24	K = 5,5; T = 1,3		$\xi = 0; 0,02; 1; 5,5; -0,85$
25	K = 4,8; T = 4,6		$\xi = 0; 0,04; 1; 3,9; -0,48$

Задание 2.6. Построить сводную таблицу поведения типовых динамических звеньев в корневой, частотной и временной областях. Проанализировать поведение кривой переходного процесса для различных типов динамических звеньев.

Таблица 2.6

Тип звена	Передаточная функция	Корневая плоскость	АФЧХ	ЛАХ, ФЧХ	Кривая переходного процесса
безынерционное					
дифференцирующее					
интегрирующее					
апериодическое 1-го порядка					
колебательное					

3.Содержание отчета.

- Результаты исследований включить в расчетно-графическое задание в виде графиков, полученных с помощью программы CLASSIC.
- Выполнить расчеты, указанные в заданиях к лабораторной работе.

Контрольные вопросы.

1. Как выделяют типовые динамические звенья САУ? Перечислите их.
2. Какие звенья называются апериодическими? Какие элементы САУ можно отнести к апериодическому звену?
3. Какие звенья называются колебательными? Какие элементы САУ можно отнести к колебательному звену?
4. Какие звенья называются интегрирующими? Какие элементы САУ можно отнести к интегрирующему звену? Какими свойствами обладает интегрирующее звено?
5. Какие звенья называются дифференцирующими? Какие элементы САУ можно отнести к дифференцирующему звену?
6. Какие звенья называются форсирующими? Какие элементы САУ можно отнести к форсирующему звену? Где они используются?
7. Какие звенья называются запаздывающими?
8. Что такое передаточная функция элемента (системы)?
9. Что представляет собой структурная схема САУ?

Лабораторное занятие 3

Исследование основных типов соединений динамических звеньев в системах автоматического управления.

Цель занятия: Освоить правила соединения типовых динамических звеньев.

Задание: Исследовать характеристики систем, образованных различными соединениями звеньев в корневой, временной и частотной областях.

Основные виды соединений типовых динамических звеньев.

Основными типами соединений звеньев в автоматических системах являются последовательное соединение, параллельное соединение и соединение с обратной связью.

Последовательным называется такое соединение звеньев, при котором выход каждого предыдущего звена связан с входом последующего (рис. 3.1, а). Передаточная функция такого соединения определяется по приведенному ниже правилу.

Правило 1. *Передаточная функция системы последовательно соединенных звеньев равна произведению передаточных функций всех звеньев, входящих в соединение.*

Для примера, показанного на рис. 3.1, а, записываем:

$$W(s) = W_1(s)W_2(s).$$

Параллельным называется такое соединение звеньев, при котором входное воздействие всех звеньев одинаково, а их выходные координаты алгебраически суммируются (рис. 3.1, б).

Передаточная функция такого соединения определяется по следующему правилу.

Правило 2. *Передаточная функция параллельно соединенных звеньев равна алгебраической сумме передаточных функций всех звеньев, входящих в соединение.*

Для примера, показанного на рис. 3.1, б, записываем:

$$W(s) = W_1(s) \pm W_2(s).$$

Соединением с обратной связью называется такое соединение звеньев, при котором с выхода звена воздействие по цепи обратной связи передается на его вход (рис. 3.1, в). Передаточная функция такого соединения определяется по следующему правилу.

Правило 3. *Передаточная функция звена, охваченного обратной связью, равна дроби, в числителе которой записывается передаточная функция охватываемого звена, а в знаменателе – сумма (или разность при положительной*

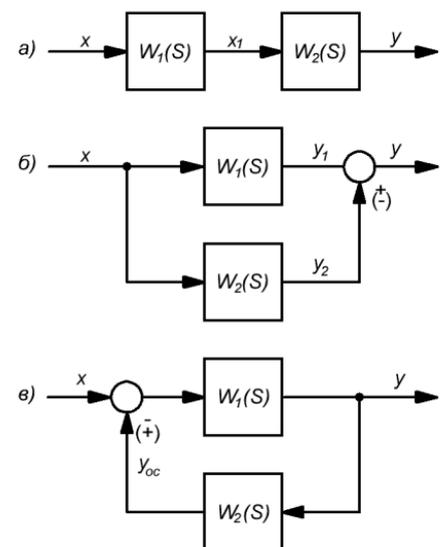


Рис.3.1

обратной связи) единицы и произведения передаточной функции охватываемого звена на передаточную функцию звена обратной связи.

Для примера, показанного на рис. 3.1, в, записываем:

$$W_{yx}(p) = \frac{W_1(p)}{1 \pm W_1(p)W_2(p)}$$

Задание 3.1. Исследовать характеристики системы, образованной последовательным соединением звеньев в корневой, временной и частотной областях.

Последовательное соединение звеньев - это такое соединение звеньев, при котором выходной сигнал одного звена подается на вход другого звена (рис. 3.2.)

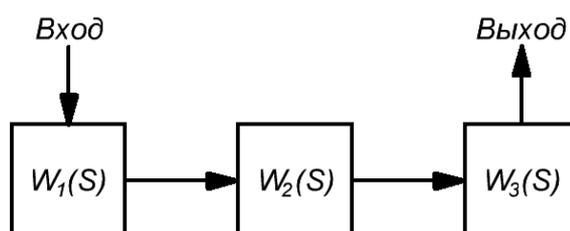


Рис. 3.2. Последовательное соединение типовых динамических звеньев.

Эквивалентная передаточная функция системы последовательно соединенных звеньев будет

$$W_{\text{пос.}}(S) = W_1(S) \cdot W_2(S) \cdot W_3(S) \quad (3.1)$$

Исследовать поведение системы, состоящей из последовательно соединенных звеньев

в корневой, частотной и временной областях.

Система состоит из:

- а) безынерционного и колебательного звеньев;
- б) дифференцирующего и колебательного звеньев;
- в) интегрирующего и колебательного звеньев;
- г) апериодического звена первого порядка и колебательного звеньев;
- д) безынерционного, дифференцирующего и колебательного звеньев;
- е) безынерционного, интегрирующего и колебательного звеньев.

Снять ЛАХ, АФЧХ, кривые переходного процесса, корни.

Параметры типовых звеньев взять из сводной таблицы лабораторной работы 2

(согласно варианта).

Задание 3.2. Исследовать поведение системы в корневой, частотной и вре-

менной областях из параллельно соединенных типовых звеньев.

Параллельное соединение звеньев – это такое соединение звеньев, при котором на все входы элементов подается один и тот же входной сигнал и все выходные сигналы элементов суммируются в один сигнал (рис. 3.3а).

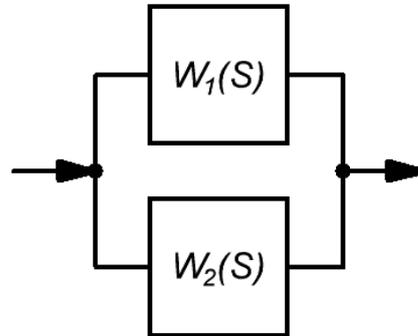


Рис. 3.3а. Параллельное соединение двух звеньев.

Реализация параллельного соединения элементов в моделирующем пакете Classic представлена на рисунке 3.3 б.

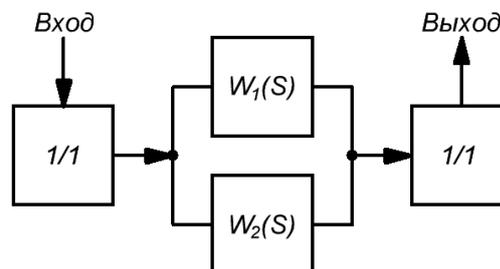


Рис. 3.3 б. Реализация параллельного соединения элементов в моделирующем пакете Classic.

Эквивалентная передаточная функция параллельно соединенных звеньев имеет вид:

$$W_{\text{пар}}(S) = W_1(S) + W_2(S).$$

Исследовать поведение системы, состоящей из параллельно соединенных звеньев

в корневой, частотной и временной областях. Система состоит из:

- а) безынерционного и апериодического звеньев;
- б) дифференцирующего и колебательного звеньев;
- в) интегрирующего и колебательного звеньев;
- г) апериодического звена первого порядка и колебательного звеньев;
- д) безынерционного и колебательного звеньев.

Снять ЛАХ, АФЧХ, кривые переходного процесса, корни.

Параметры типовых звеньев взять из сводной таблицы лабораторной работы 2 (согласно варианта).

Обратные связи в системах автоматического управления.

В организации самого процесса управления большую и решающую роль играет получение информации о результатах управления. При наличии этой информации решение об управляющих действиях существенно зависит от результатов управления. Иными словами, первичный элемент – управляющее действие – зависит от вторичного элемента – вызываемого управляющим действием поведения объекта управления. Получается замкнутый круг: причина, вызывающая изменение состояния объекта управления, ставится в зависимость от того, какой результат она вызовет. Такая связь причины и следствия называется обратной связью

Обратная связь - это связь, по которой информация о состоянии объекта управления (контролирующее воздействие, соответствующее действительному значению управляемой величины) передается с выхода системы на ее вход.

Обратные связи подразделяются на:

- а) отрицательные и положительные;
- б) жесткие и гибкие;
- в) главные и местные.

Если воздействие обратной связи, поступающее на вход системы, по знаку совпадает со знаком задающего воздействия, то ее называют положительной. В противном случае говорят об отрицательной обратной связи.

Если передаваемое воздействие зависит только от выходной величины и не зависит от времени, связь считают жесткой. Жесткие обратные связи действуют как в установившемся, так и в переходном режиме.

Обратная связь, оказывающая влияние на работу систем только в переходном режиме, называется гибкой. Такие связи реагируют на приращения воздействий, поступающих на их вход. Те из них, что реагируют на производные от воздействий, называют дифференцирующими, а на интегралы от воздействий – интегрирующими, гибкими обратными связями.

Если обратная связь соединяет выход системы с ее входом, то ее называют главной, остальные же обратные связи считают местными. Они служат для улучшения регулировочных свойств отдельных элементов или их групп, соединяя выход элементов или группы элементов с соответствующим входом. Местные связи получили также второе название – корректирующие связи. Местные связи, как и главная связь, по своей сути могут быть гибкими или жесткими.

Задание 3.3. Исследовать поведение системы в корневой, частотной и временной областях из типовых звеньев с обратной связью.

Встречно-параллельным соединением звеньев или соединением с обратной связью называется такое соединение звеньев, при котором выходной сигнал звена не изменяясь (либо видоизменяясь) подается на вход этого же звена (либо системы) со знаком (+) или знаком (-). Если сигнал имеет знак (+), то говорят, что звено охвачено положительной обратной связью, знак (-) - отрицательной обратной связью (рис. 3.4 а; 3.4 б).



Рис. 3.4. Структурная схема соединения звеньев с обратной связью:
а – с обратной положительной связью (входной сигнал от звена 2 имеет знак +);
б – с обратной отрицательной связью (входной сигнал от звена 2 имеет знак -).

Эквивалентная передаточная функция системы с положительной обратной связью имеет вид:

$$W_{\text{пол.}}(S) = \frac{W_1(S)}{1 - W_1(S)W_2(S)}, \quad (4.1)$$

с отрицательной обратной связью

$$W_{\text{отр.}}(S) = \frac{W_1(S)}{1 + W_1(S)W_2(S)} \quad (4.2)$$

Изучить влияние положительной обратной связи на колебательное звено. Снять частотные характеристики колебательного звена и характеристики двух звеньев. Расположить в одной координатной плоскости переходную характеристику колебательного звена и переходную характеристику системы. Письменно проанализировать влияние обратной связи на устойчивость звена и параметры качества регулирования.

Использовать в качестве звена обратной связи.

- а) звено с передаточной функцией $W_2(S) = 1$;
- б) безынерционное
- в) дифференцирующее;
- г) интегрирующее
- д) апериодическое звено 1-го порядка;

Параметры звеньев взять из сводной таблицы лабораторной работы 2 согласно варианта.

Задание 3.4. Изучить влияние отрицательной обратной связи на колеба-

тельное звено. Снять частотные характеристики колебательного звена и характеристики двух звеньев. Расположить в одной координатной плоскости переходную характеристику колебательного звена и переходную характеристику системы. Письменно проанализировать влияние отрицательной обратной связи на устойчивость звена и параметры качества регулирования.

Использовать в качестве звена обратной связи.

- а) звено с передаточной функцией $W_2(S) = 1$;
- б) безынерционное
- в) дифференцирующее;
- г) интегрирующее
- д) апериодическое звено 1-го порядка;

Параметры звеньев взять из сводной таблицы лабораторной работы 2 согласно варианта.

Контрольные вопросы

1. Какие основные типы соединений звеньев используются в САУ?
2. Какое соединение называется последовательным соединением типовых динамических звеньев. По каким правилам определяется передаточная функция соединения?
3. Какое соединение называется параллельным соединением типовых динамических звеньев. По каким правилам определяется передаточная функция соединения?
4. Какое соединение называется соединением типовых динамических звеньев с обратной связью. Какие типы обратных связей рассматриваются в ТАУ? По каким правилам определяется передаточная функция соединения?
5. Какую систему называют одноконтурной?
6. Перечислите основные правила преобразования структурных схем.
7. Как положительная обратная связь влияет на расположение корней характеристического полинома системы.
8. Как положительная обратная связь влияет на устойчивость системы.
9. Как положительная обратная связь влияет на переходный процесс.
10. Как отрицательная обратная связь влияет на расположение корней характеристического полинома системы;
11. Как отрицательная обратная связь влияет на устойчивость системы.
12. Как отрицательная обратная связь влияет на переходный процесс.

Лабораторное занятие 4.

Исследование системы автоматического регулирования с типовыми регуляторами.

Цель работы: Познакомится с основными типовыми регуляторами систем автоматического регулирования.

Задание: Исследовать характеристики САР с различными типовыми регуляторами.

Автоматические регуляторы с типовыми алгоритмами регулирования — релейными, пропорциональным (П), пропорционально-интегральным (ПИ), пропорционально-дифференциальным (ПД) и пропорционально-интегрально-дифференциальным (ПИД) — составляют основную группу регуляторов, используемых в самых различных отраслях промышленности. Несмотря на широкое использование управляющих вычислительных машин, микропроцессорных средств контроля и управления, автоматические регуляторы являются широко распространенными средствами автоматизации в составе локальных систем контроля и регулирования с числом контуров регулирования от 1 до 8—16, подсистем нижнего уровня иерархии управления в распределенных АСУ ТП.

Главная функция регулятора — формирование сигнала рассогласования между регулируемой величиной и ее заданным значением (уставкой) и динамическое преобразование сигнала рассогласования по типовым алгоритмам (законам) регулирования. Управляющий сигнал с выхода регулятора поступает непосредственно на вход исполнительного устройства автоматической системы управления.

При автоматизации конкретного объекта автоматическая система регулирования реализует один из типовых законов регулирования, выбор которого определяется условиями постановки задачи. Рассмотрим эти законы:

- пропорциональный (П-регулятор);
- интегральный (И-регулятор);
- пропорционально-интегральный (ПИ-регулятор);
- пропорционально-интегрально-дифференциальный (ПИД- регулятор).

Переходные процессы в этих регуляторах, как и для типовых динамических звеньев, рассматриваются для случая скачкообразного изменения входного возмущающего воздействия.

Выходную величину регулятора будем называть регулирующим импульсом, определяющим характер перемещения исполнительного механизма.

П-регулятор - это такой регулятор, величина регулирующего импульса которого прямо пропорциональна входному воздействию $u(t) = K_p e(t)$, а передаточная функция имеет вид

$W(s) = K_p$, где K_p - коэффициент передачи П-регулятора – параметр настройки

регулятора.. В динамическом отношении П-регулятор аналогичен типовому пропорциональному звену и имеет тот же характер переходного процесса. Этот тип регулятора используется в наиболее простых АСР. Он обладает высоким быстродействием.

И-регулятор - это такой регулятор, величина регулирующего импульса которого пропорциональна интегралу от отклонения входного воздействия $u(t) = \frac{1}{T_{и}} \int_0^t e^{\tau_0/\tau}$, а передаточная функция имеет вид $W(s) = 1/T_{и}s$, где $T_{и}$ – постоянная интегрирования (постоянная времени) – параметр настройки регулятора. В динамическом отношении И-регулятор аналогичен интегральному типовому звену и имеет тот же характер переходного процесса, а скорость перемещения исполнительного механизма пропорциональна изменению входного воздействия и коэффициент передачи интегрального регулятора численно равен этой скорости при изменении входного воздействия на единицу измерения. Характерной особенностью И-закона является то, что управляющее воздействие изменяется до тех пор, пока ошибка не станет равной нулю, т.е. обеспечивается нулевая установившаяся ошибка при постоянном воздействии.

И - регуляторы иначе называют астатическими. В случае их использования для статических или астатических объектов регулирования статическая ошибка стремится к нулю, и внешняя характеристика объекта с И-регулятором, связывающая значение регулируемой величины с нагрузкой (внешним возмущением), является астатической. В связи с этим интегральные регуляторы применяются тогда, когда необходима высокая точность поддержания регулируемой величины на заданном уровне в широком диапазоне изменения возмущения (нагрузки). Реальные системы с И-регулятором по сравнению с системами с П-регулятором при прочих равных условиях всегда имеют существенно меньшую статическую ошибку регулирования, но худшее быстродействие.

ПИ-регулятор - это такой регулятор, величина регулирующего импульса которого одновременно пропорциональна как изменению входного воздействия, так и интегралу от него:

$$u(t) = K_p e(t) + \frac{K_p}{T_{и}} \int_0^t e(t) dt,$$

а передаточная функция имеет вид $W(s) = K_p (T_{и}s + 1) / T_{и}s$.

Этот закон наиболее часто реализуется в системах промышленной автоматики. При скачкообразном изменении регулируемой величины на значение e_0 ПИ-регулятор со скоростью, определяемой быстродействием привода, перемещает исполнительный механизм на величину $(k_p \cdot e_0)$, после чего исполнительный механизм дополнительно перемещается в ту же сторону со скоростью $e_0/T_{и}$, пропорциональной отклонению регулируемой величины. Следовательно, в ПИ-регуляторе при отклонении регулируемой величины от заданного значения мгновенно срабатывает пропорциональная (статическая) составляющая регулятора, а затем постепенно увеличивается интегральная (астатическая) составляющая регулятора. Параметрами настройки являются независимые друг от друга

коэффициенты усиления k_p и постоянная времени интегрирования T_i .

ПИД – регуляторы.

П- и ПИ-регуляторы не могут упреждать ожидаемое отклонение регулируемой величины, реагируя только на уже имеющееся отклонение. Возникает необходимость в регуляторе, который вырабатывал бы дополнительное регулирующее воздействие, пропорциональное скорости отклонения регулируемой величины от заданного значения. Такое регулирующее воздействие используется в дифференциальных и ПИД-регуляторах.

ПИД-регулятор – это такой регулятор величина регулирующего импульса которого воздействует на объект пропорционально отклонению регулируемой величины, интегралу от этого отклонения и скорости изменения регулируемой величины:

$$u(t) = K_p e(t) + \frac{K_p}{T_i} \int_0^t e(t) dt + K_p T_d \frac{de(t)}{dt}.$$

По возможностям ПИД-регуляторы являются универсальными. Используя их, можно получить любой закон регулирования.

При скачкообразном изменении регулируемой величины ПИД-регулятор в начальный момент времени оказывает мгновенное бесконечно большое воздействие на объект регулирования, затем величина воздействия резко падает до значения, определяемого пропорциональной составляющей, после чего постепенно начинает оказывать влияние интегральная составляющая регулятора. Переходной процесс при этом имеет минимальные отклонения по амплитуде и по времени. Параметрами настройки ПИД-регуляторов являются коэффициент пропорциональности регулятора k_p , постоянная времени интегрирования T_i и постоянная времени дифференцирования T_d .

Для оценки систем автоматического регулирования используют критерии устойчивости и показатели качества процесса регулирования. В данной лабораторной работе воспользуемся алгебраическим и логарифмическим критериями устойчивости САР.

В программе CLASSIC на экран выводится корневая плоскость с корнями характеристического уравнения системы (объекта). Алгебраический критерий устойчивости гласит: чтобы система регулирования была устойчивой, необходимо и достаточно, чтобы все действительные корни характеристического уравнения системы и действительные части сопряженных комплексных корней были отрицательными. *Корни характеристического уравнения САР на комплексной плоскости для устойчивой системы располагаются слева от мнимой оси.* Если хотя бы один из этих корней расположен справа – система будет неустойчива.

В программе CLASSIC по умолчанию на экран выводятся логарифмические частотные характеристики САР. Для оценки устойчивости системы воспользуемся логарифмическим критерием устойчивости:

система устойчива, если при частоте равной (-180°) ордината логарифмической амплитудной характеристики будет иметь отрицательный знак.

Кроме устойчивости системы оцениваются параметры качества процесса регулирования.

Если параметры качества процесса регулирования определяются непосредственно по кривой переходного процесса, то они называются прямыми оценками (показателями) качества.

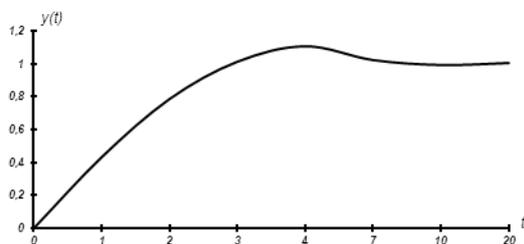


Рис. 4.1. Кривая переходного процесса

- Прямые показатели качества (рис.4.1):
- максимальное отклонение регулируемой величины – $y_{\max}(t) = 1$;
 - время регулирования – время, в течение которого регулируемая величина перейдет к новому установившемуся состоянию или вернется к прежнему, $t_{\text{пер}} = 5$ с;
 - перерегулирование – величина, кото-

рая вычисляется по формуле

$$\Pi = \frac{y_{\max} - y_{\text{уст}}}{y_{\text{уст}}} \cdot 100\%.$$

В нашем случае $y_{\max} = y_{\text{уст}}$, т. е. $\Pi = 0$;

- колебательность САР – число колебаний регулируемой величины за время регулирования. Очевидно, что в нашем случае колебательность системы отсутствует.

Требования к качеству процесса регулирования в судовых системах автоматики предъявляет Регистр РФ. Они могут быть различными для разных САР. Для большинства систем эти требования следующие:

- время регулирования – от 15 до 30 секунд;
- перерегулирование – не более 18%;
- колебательность системы – не более 3.

Задание. Снять характеристики объекта регулирования. Оценить его устойчивость и параметры качества по кривой переходного процесса (отклика на единичный ступенчатый заброс). Исследовать поведение замкнутой системы регулирования с основной обратной отрицательной связью и различными видами типовых автоматических регуляторов, включенных в ветвь обратной связи. Данные для исследования взять из таблицы 4.1.

1. Реализовать модель объекта регулирования и снять её характеристики (рис.4.2).

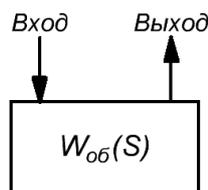


Рис.4.2 Модель объекта регулирования.

Снять корневую плоскость и логарифмические частотные характеристики. Снять кривую переходного процесса. Определить по соответствующим графикам устойчивость и основные показатели качества системы:

- время переходного процесса (время регулирования);
- величину перерегулирования;
- колебательность процесса регулирования.

Ответить на вопросы:

- является ли объект устойчивым согласно алгебраического и логарифмического критериев;
- удовлетворяет ли он требованиям к параметрам качества процесса регулирования.

2. Реализовать модель объекта регулирования с обратной положительной и отрицательной связью и снять её характеристики (рис. 4.3).

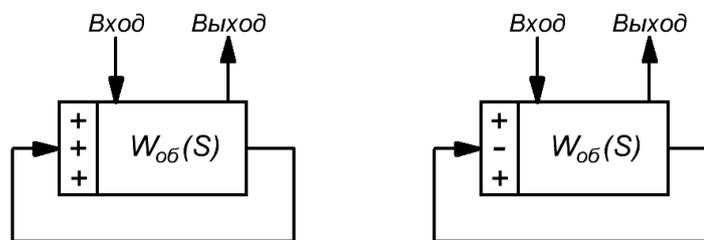


Рис.4.3. Модель САР с обратной связью.

Снять корневую плоскость и логарифмические частотные характеристики. Снять кривую переходного процесса. Определить по соответствующим графикам устойчивость и основные показатели качества системы:

- время переходного процесса (время регулирования);
- величину перерегулирования;
- колебательность процесса регулирования.

Ответить на вопросы:

- является ли система с обратной связью устойчивой согласно алгебраического и логарифмического критериев;
- удовлетворяет ли система требованиям к параметрам качества процесса регулирования;
- какой тип обратной связи необходимо выбрать для заданного объекта регулирования.

3. Реализовать модель объекта регулирования с обратной отрицательной связью и типовым регулятором в ветви обратной связи (рис.4.4).

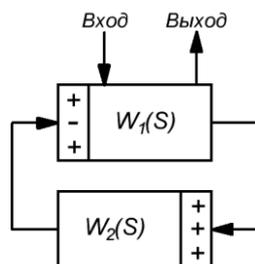


Рис.4.4 Модель САР с типовым регулятором в ветви обратной связи.

$W_1(s)$ – передаточная функция объекта регулирования;

$W_2(s)$ - передаточная функция типового регулятора.

Снять корневую плоскость и логарифмические частотные характеристики. Снять кривую переходного процесса. Определить по соответствующим графикам устойчивость САР и основные показатели качества САР:

- время переходного процесса (время регулирования);
- величину перерегулирования;
- колебательность процесса регулирования.

Ответить на вопрос:

- какой из регуляторов дает удовлетворительные параметры качества процесса регулирования для заданного объекта.

Передаточные функции типовых регуляторов выбрать из таблицы 4.1 согласно варианта.

Таблица 4.1. Данные для исследования систем регулирования.

№ варианта	Передаточная функция объекта регулирования	Передаточная функция П-регулятора	Передаточная функция И-регулятора	Передаточная функция ПИ-регулятора	Передаточная функция ПД-регулятора
1	$1/(1+0.2s+0.5s^2)$	2	$1/0.4s$	$(2+0.8s)/0.4s$	$(2+0.6s)/1$
2	$1/(1+0.2s+0.4s^2)$	3	$1/0.5s$	$(3+1.5s)/0.5s$	$(3+0.4s)/1$
3	$1/(1+0.3s+0.2s^2)$	1.5	$1/2s$	$(1.5+3s)/2s$	$(1/5+0.7s)/1$
4	$1/(1+0.6s+0.3s^2)$	2	$1/4s$	$(2+8s)/4s$	$(2+0.9s)/1$
5	$1/(1+0.4s+0.2s^2)$	4	$1/0.5s$	$(4+2s)/0.5s$	$(4+1.2s)/1$
6	$1/(1+0.3s+0.3s^2)$	1.8	$1/2s$	$(1.8+3.6s)/2s$	$(1.8+0.8s)$
7	$1/(1+0.2s+0.5s^2)$	1.2	$1/3s$	$(1.2+3.6s)/3s$	$(1.2+0.6s)/1$
8	$1/(1+0.06s+0.3s^2)$	2	$1/s$	$(2+2s)/s$	$(2+s)/1$
9	$1/(1+0.03s+0.3s^2)$	3	$1/2s$	$(3+6s)/2s$	$(3+1.2s)/1$
10	$1/(1+0.09s+0.4s^2)$	2	$1/0.4s$	$(2+0.8s)/0.4s$	$(2+0.8s)/1$
11	$1/(1+0.2s+0.3s^2)$	1.3	$1/6s$	$(1.3+7.8s)/6s$	$(1.3+1/2s)/1$
12	$1/(1+0.08s+0.1s^2)$	1.4	$1/2s$	$(1.4+2.8s)/2s$	$(1.4+0.7s)/1$
13	$1/(1+0.02s+0.7s^2)$	1.6	$1/s$	$(1.6+s)/s$	$(1.6+0.5s)/1$
14	$1/(1+0.06s+s^2)$	1.7	$1/2s$	$(1.7+3.4s)/2s$	$(1.7+0.9s)/1$
15	$1/(1+0.9s+0.4s^2)$	2	$1/0.5s$	$(2+s)/0.5s$	$(2+0.9s)/1$
16	$1/(1+0.2s+0.8s^2)$	1.6	$1/3s$	$(1.6+4.8s)/3s$	$(1.6+1.3s)/1$
17	$1/(1+0.3s+0.6s^2)$	1.2	$1/4s$	$(1.2+4.8s)/4s$	$(1.2+1.4s)/1$
18	$1/(1+0.09s+0.2s^2)$	4	$1/0.6s$	$(4+2.4s)/0.6s$	$(4+1.6s)/1$

19	$1/(1+0.08s+0.2s^2)$	2	$1/0.8s$	$(2+1.6s)/0.8s$	$(2+0.6s)/1$
20	$1/(1+0.3s+0.2s^2)$	3	$1/0.9s$	$(3+2.7s)/0.9s$	$(3+0.5s)/1$
21	$1/(1+0.03s+0.6s^2)$	1.6	$1/2s$	$(1.6+3.2s)/2s$	$(1.6+ 1.2s)/1$
22	$1/(1+0.06s+0.3s^2)$	1.7	$1/s$	$(1.7+1.7s)/s$	$(1.7+0.7s)/1$
23	$1/(1+0.2s+0.08s^2)$	2	$1/0.7s$	$(2+1.4s)/0.7s$	$(2+0.8s)/1$
24	$1/(1+0.05s+0.4s^2)$	1.5	$1/3s$	$(1.5+4.5s)/3s$	$(1.5+ s)/1$
25	$1/(1+0.07s+0.8s^2)$	4	$1/0.5s$	$(4+2s)/0.5s$	$(4+ 0.9s)/1$

Оценить устойчивость и качество наилучшей системы регулирования и сделать вывод необходима коррекция параметров регулятора или нет.

Контрольные вопросы.

1. Дайте определение регулятора. Какова главная функция регулятора.
2. Как классифицируют типовые регуляторы в ТАУ.
3. Дайте характеристику пропорциональных регуляторов.
4. Дайте характеристику интегральных регуляторов.
5. Дайте характеристику пропорционально-интегральных регуляторов.
6. Дайте характеристику пропорционально-интегрально-дифференциальных регуляторов.
7. По каким критериям устойчивости оценивается устойчивость САУ.
8. Какие параметры качества можно определить по кривой переходного процесса.
9. По каким критериям подбирают типовой регулятор для системы регулирования.

4. ЛИТЕРАТУРА

Основная:

1. Бесекерский В.А., Попов Е.Н. Теория автоматического управления. Изд.4-е перераб. И доп. - СПб. Издательство "Профессия", 2003 – 752с.
2. Толстова Л.А. Теория автоматического управления в вопросах и ответах. Учебное пособие. П-К., 2015, -177 с.

Дополнительная:

3. Туманов М.П. Теория управления. Теория линейных систем автоматического управления. Учебное пособие.- М.:МГИЭМ, 2005.-82с.
4. Клавдиев А.А. Теория автоматического управления в примерах и задачах. Ч.1. Учебное пособие.- СПб.: СЗТУ, 2005- 74с.
5. Лазарева Т.Я., Мартемьянов Ю.Ф. Основы ТАУ. Учебное пособие.- Тамбов. Из-во ТГТУ, 2004-352с.