

**Министерство образования и науки Российской Федерации
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего профессионального образования
«Амурский государственный университет»**

Кафедра информационных и управляющих систем

**УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКИЙ КОМПЛЕКС ДИСЦИПЛИНЫ
МОДЕЛИ СИСТЕМ АВТОМАТИЧЕСКОГО УПРАВЛЕНИЯ**

Основной образовательной программы направления подготовки 230100.68 «Информатика и вычислительная техника»

Благовещенск 2012 г.

УМКД разработан д-ром техн. наук, профессором Ерёминым Евгением Леонидовичем, канд. техн. наук, доцентом Чепак Ларисой Владимировной

Рассмотрен и рекомендован на заседании кафедры

Протокол заседания кафедры от «___» _____ 201_ г. №___

Зав. кафедрой _____ / А.В. Бушманов /

УТВЕРЖДЕН

Протокол заседания УМС направления подготовки 230100.68 «Информатика и вычислительная техника»

от «___» _____ 201_ г. №___

Председатель УМС _____ / В.В. Еремина /

СОДЕРЖАНИЕ

1	Рабочая программа учебной дисциплины	4
1.1	Цели и задачи освоения дисциплины	4
1.2	Место дисциплины в структуре ООП ВПО	4
1.3	Компетенции обучающегося, формируемые в результате освоения дисциплины	4
1.4	Структура и содержание дисциплины	5
1.5	Содержание разделов и тем дисциплины	5
1.6	Самостоятельная работа	5
1.7	Матрица компетенций	6
1.8	Образовательные технологии	6
1.9	Оценочные средства для текущего контроля успеваемости, промежуточной аттестации по итогам освоения дисциплины и учебно-методическое обеспечение самостоятельной работы студентов	6
1.10	Учебно-методическое и информационное обеспечение дисциплины	7
1.11	Материально-техническое обеспечение дисциплины	8
1.12	Рейтинговая оценка знаний студентов по дисциплине	9
2	Краткое изложение программного материала	8
3	Методические указания	12
3.1	Методические указания по изучению дисциплины	12
3.2	Методические указания к лабораторным занятиям	13
3.3	Методические указания по самостоятельной работе студентов	14
4	Контроль знаний	15
4.1	Текущий контроль знаний	15
4.2	Итоговый контроль	20
5	Интерактивные технологии и инновационные методы, используемые в образовательном процессе	21

1 РАБОЧАЯ ПРОГРАММА УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЫ

1.1 Цели и задачи освоения дисциплины

Цель освоения дисциплины – изучение современных моделей систем автоматического управления динамическими объектами.

Задачи дисциплины:

- развить инженерный подход к выбору и применению математических моделей систем автоматического управления;
- сформировать устойчивые навыки в формулировке постановок и решения задач с использованием моделей систем автоматического управления.

1.2 Место дисциплины в структуре ООП ВПО

Дисциплина «Модели систем автоматического управления» является дисциплиной, входящей в блок дисциплин по выбору М2. ДВ.2 Федерального государственного образовательного стандарта высшего профессионального образования по направлению подготовки 230100.68 «Информатика и вычислительная техника» (степень «магистр»).

Для успешного освоения данной дисциплины необходимы знания, умения и навыки, приобретенные в результате освоения дисциплин общенаучного и профессионального циклов Федерального государственного образовательного стандарта высшего профессионального образования по направлению подготовки 230100.68 «Информатика и вычислительная техника» (степень «магистр»): «Моделирование в САПР», «Имитационное моделирование».

Знания, умения и навыки, приобретенные в результате освоения данной дисциплины необходимы для освоения дисциплин профессионального цикла Федерального государственного образовательного стандарта высшего профессионального образования по направлению подготовки 230100.68 «Информатика и вычислительная техника» (степень «магистр»).

1.3 Компетенции обучающегося, формируемые в результате освоения дисциплины

В результате освоения дисциплины обучающийся должен демонстрировать следующие результаты образования:

- 1) Знать: принципы организации систем автоматического управления; математическое описание систем автоматического управления.
- 2) Уметь: решать задачи анализа и синтеза систем автоматического управления.
- 3) Владеть: навыками по формированию математического описания системы управления.

В процессе освоения данной дисциплины магистрант формирует и демонстрирует следующие профессиональные компетенции:

выбирать методы и разрабатывать алгоритмы решения задач управления и проектирования объектов автоматизации (ПК-5).

1.4 Структура и содержание дисциплины

Общая трудоемкость дисциплины составляет 3 зачетные единицы, 108 часов.

№ п/п	Раздел дисциплины	Семестр	Неделя семестра	Виды учебной работы, включая самостоятельную работу студентов и трудоемкость в часах				Формы текущего контроля успеваемости Форма промежуточной аттестации
				Лек	Пр	Лаб	Сам	
1	Классификация и математическое описание систем автоматического управления	3	1-2	2	0	2	8	Защита лаб. работы
			3-4	2	0	2	8	Защита лаб. работы

2	Теория линейных систем автоматического управления непрерывного действия	3	5-6	2	0	2	8	Защита лаб. работы
			7-8	2	0	2	8	Защита лаб. работы
			9-10	2	0	2	8	Защита лаб. работы
			11-12	2	0	2	8	Защита лаб. работы
3	Теория нелинейных систем автоматического управления	3	13-14	2	0	2	8	Защита лаб. работы
			15-16	2	0	2	8	Защита лаб. работы
			17-18	2	0	2	8	Защита лаб. работы
4	Итого	3	1-18	18	0	18	72	Зачет

1.5 Содержание разделов и тем дисциплины

1.5.1 Лекции

1.5.1.1 Раздел 1. Классификация и математическое описание систем автоматического управления.

Тема 1. Непрерывные системы и дискретные системы. Линейные и нелинейные системы автоматического управления. Стационарные и нестационарные системы управления.

Тема 2. Математическое моделирование процессов в автоматических системах. Дифференциальные уравнения. Передаточные функции.

1.5.1.2 Раздел 2. Теория линейных систем автоматического управления непрерывного действия.

Тема 1. Математическое описание линейных систем. Типовые динамические звенья.

Тема 2. Устойчивость линейных систем управления.

Тема 3. Качество переходных процессов в линейных системах автоматического управления.

Тема 4. Коррекция динамических свойств и порядок синтеза линейных систем автоматического управления.

1.5.1.3 Раздел 3. Теория нелинейных систем автоматического управления.

Тема 1. Особенности нелинейных систем автоматического управления.

Тема 2. Устойчивость нелинейных систем автоматического управления.

Тема 3. Качество и коррекция переходных процессов в нелинейных системах автоматического управления.

1.5.2 Лабораторные занятия

1.5.2.1 Лабораторная работа 1. Вводное занятие. Знакомство с интерфейсом, структурой и назначением программного комплекса ОТУ.

1.5.2.2 Лабораторная работа 2. Исследование характеристик звеньев 1-го порядка.

1.5.2.3 Лабораторная работа 3. Исследование характеристик звеньев 2-го порядка и типовых соединений в линейных системах управления.

1.5.2.4 Лабораторная работа 4. Исследование частотных характеристик линейных систем управления.

1.5.2.5 Лабораторная работа 5. Исследование устойчивости систем управления с обратной связью.

1.5.2.6 Лабораторная работа 6. Исследование статических и скоростных ошибок замкнутых систем.

1.5.2.7 Лабораторная работа 7. Изучение типовых законов регулирования.

1.5.2.8 Лабораторная работа 8. Исследование влияния корректирующих звеньев на процессы управления в замкнутых системах.

1.5.2.9 Лабораторная работа 9. Исследование динамики нелинейных систем первого типа.

1.6 Самостоятельная работа

№ п/п	Раздел дисциплины	Форма (вид) самостоятельной работы	Трудоемкость в часах
-------	-------------------	------------------------------------	----------------------

1	Классификация и математическое описание систем автоматического управления	Выполнение двух лабораторных работ	16
2	Теория линейных систем автоматического управления непрерывного действия	Выполнение четырех лабораторных работ	32
3	Теория нелинейных систем автоматического управления	Выполнение трех лабораторных работ	24

1.7 Матрица компетенций

№ п/п	Раздел дисциплины	Компетенции	Общее кол-во компетенций
		ПК5	
1	Классификация и математическое описание систем автоматического управления	+	1
2	Теория линейных систем автоматического управления непрерывного действия	+	1
3	Теория нелинейных систем автоматического управления	+	1

1.8 Образовательные технологии

В качестве образовательных технологий при изучении дисциплины используются мультимедийные лекции. Защита лабораторных работ происходит в виде устной беседы по выполненным студентом заданиям и контрольным вопросам. Студенту предлагается выполнить самостоятельно в присутствии преподавателя индивидуальные задания. Удельный вес занятий, проводимых в интерактивной форме согласно требованиям Федерального государственного образовательного стандарта высшего профессионального образования по направлению подготовки 230100.68 «Информатика и вычислительная техника» (степень «магистр») должен составлять не менее 6,8 часов аудиторных занятий:

№ п/п	Раздел дисциплины	Форма (вид) образовательных технологий	Количество часов
1	Классификация и математическое описание систем автоматического управления	Мультимедийные лекции	4
		Беседа по лабораторным работам № 1 – 2	2
2	Теория линейных систем автоматического управления непрерывного действия	Мультимедийные лекции	8
		Беседа по лабораторным работам № 3 – 6	2
3	Теория нелинейных систем автоматического управления	Мультимедийные лекции	5
		Беседа по лабораторным работам № 7 – 9	2
4	Всего по разделам		23

1.9 Оценочные средства для текущего контроля успеваемости, промежуточной аттестации по итогам освоения дисциплины и учебно-методическое обеспечение самостоятельной работы студентов

1.9.1 Оценочные средства для текущего контроля успеваемости

1.9.1.1 Индивидуальные задания для лабораторных работ.

1.9.2 Оценочные средства для промежуточной аттестации

Вопросы к зачету:

1.9.2.1 Основные понятия теории управления. Принципы управления в системах автоматического управления. Примеры.

1.9.2.2 Классификация систем автоматического управления.

1.9.2.3 Линеаризация систем автоматического управления. Первая форма записи.

- 1.9.2.4 Интегральные преобразования Лапласа. Вторая форма записи.
- 1.9.2.5 Модели систем автоматического управления в пространстве состояний.
- 1.9.2.6 Типовые соединения и передаточные функции систем автоматического управления.
- 1.9.2.7 Инерционное звено 1-ого порядка.
- 1.9.2.8 Инерционное звено 2-ого порядка.
- 1.9.2.9 Идеальное интегрирующее звено.
- 1.9.2.10 Интегрирующее звено с замедлением.
- 1.9.2.11 Идеальное дифференцирующее звено.
- 1.9.2.12 Реальное дифференцирующее звено.
- 1.9.2.13 Звено с чистым запаздыванием.
- 1.9.2.14 Устойчивость систем автоматического управления. Необходимые и достаточные условия устойчивости.
- 1.9.2.15 Граница устойчивости и ее типы.
- 1.9.2.16 Критерий устойчивости Рауса-Гурвица.
- 1.9.2.17 Критерий устойчивости Михайлова.
- 1.9.2.18 Критерий устойчивости Найквиста
- 1.9.2.19 Оценка установившейся точности в режимах стабилизации и слежения.
- 1.9.2.20 Качество систем автоматического управления. Прямые показатели качества. Оценка быстродействия и запаса устойчивости.
- 1.9.2.21 Корневой и интегральные методы оценки качества систем автоматического управления.
- 1.9.2.22 Частотный критерий оценки качества систем автоматического управления.
- 1.9.2.23 Типовые регуляторы и коррекция систем автоматического управления.
- 1.9.2.24 Особенности нелинейных систем автоматического управления.
- 1.9.2.25 Метод фазовой плоскости.
- 1.9.2.26 Прямой метод Ляпунова и его применение.
- 1.9.2.27 Критерий абсолютной устойчивости.
- 1.9.2.28 Методы оценки качества переходных процессов в нелинейных системах.
- 1.9.2.29 Особенности коррекции динамических свойств нелинейных систем.
- 1.9.2.30 Нелинейные корректирующие звенья.

1.9.3 Учебно-методическое обеспечение самостоятельной работы

- 1.9.3.1 Карточки с индивидуальными заданиями для лабораторных работ.

1.10 Учебно-методическое и информационное обеспечение дисциплины

а) основная литература:

1.10.1 Первозванский А. А. Курс теории автоматического управления: учеб. пособие / А. А. Первозванский. - 2-е изд., стер. - СПб. : Лань, 2010. - 616 с.

1.10.2 Теория автоматического управления : учеб. : доп. Мин. обр. РФ / под ред. В. Б. Яковлева. - 3-е изд., стер. - М. : Высш. шк., 2009. - 568 с.

1.10.3 Юревич Е. И. Теория автоматического управления : учеб.: рек. Мин. обр. РФ / Е.И. Юревич. - 3-е изд. - СПб. : БХВ-Петербург, 2007. - 540 с.

б) дополнительная литература:

1.10.4 Еремин Е. Л. Основы теории управления: практикум на ПЭВМ : учеб. пособие / Е. Л. Еремин, И. Е. Еремин, Л. В. Ильина ; АмГУ, ФМиИ. - Благовещенск : Изд-во Амур. гос. ун-та, 2002. - 92 с.

1.10.5 Ерофеев А. А. Теория автоматического управления: учебник: Рек Мин. обр. РФ / А.А. Ерофеев. - 2-е изд., доп. и перераб. - СПб. : Политехника, 2003. - 303 с.

1.10.6 Ротач В. Я. Теория автоматического управления: учеб.: рек. Мин. обр. РФ / В. Я. Ротач. - 4-е изд., стер. - М. : Изд-во Моск. энергет. ин-та, 2007. - 400 с.

в) периодические издания:

- 1.10.7 IEEE Transactions on Control Systems Technology.
 1.10.8 Автоматика и телемеханика.
 1.10.9 Известия РАН. Теория и системы управления.
 10.10 Мехатроника, автоматизация и управление.
 г) программное обеспечение и Интернет-ресурсы:
 1.10.11 Программный комплекс ОТУ.

№	Наименование ресурса	Краткая характеристика
1	http://www.iqlib.ru	Интернет библиотека образовательных изданий, в которой собраны электронные учебники, справочные и учебные пособия. Удобный поиск по ключевым словам, отдельным темам и отраслям знаний.
2	http://elibrary.ru/	Научная электронная библиотека eLIBRARY.RU – крупнейший российский информационный портал в области науки, технологии, медицины и образования, содержащий рефераты и полные тексты более 14 млн научных статей и публикаций.

1.11 МАТЕРИАЛЬНО-ТЕХНИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ

- 1.11.1 Лекционная аудитория, оборудованная мультимедийными средствами.
 1.11.2 Лаборатории, оборудованные рабочими местами пользователей ЭВМ.

1.12 РЕЙТИНГОВАЯ ОЦЕНКА ЗНАНИЙ СТУДЕНТОВ ПО ДИСЦИПЛИНЕ

Семестровый модуль дисциплины						
№ п/п	Раздел дисциплины	Виды контроля	Сроки выполнения (недели)	Максимальное кол-во баллов	Посещение, активность на практических занятиях	Максимальное кол-во баллов за модуль
1	Классификация и математическое описание систем автоматического управления	Сдача лабораторных работ № 1 – 2	1-4	8	2	10
2	Теория линейных систем автоматического управления непрерывного действия	Сдача лабораторных работ № 3 – 6	5-12	23	2	25
3	Теория нелинейных систем автоматического управления	Сдача лабораторных работ № 7 – 9	13-18	23	3	25
4	Промежуточная аттестация	Зачет	1-18			40
Итого						100

2 КРАТКОЕ ИЗЛОЖЕНИЕ ПРОГРАММНОГО МАТЕРИАЛА

2.1 Раздел 1. Классификация и математическое описание систем автоматического управления.

Лекция 1: Непрерывные системы и дискретные системы. Линейные и нелинейные системы автоматического управления. Стационарные и нестационарные системы управления.

План:

1. Непрерывные системы и дискретные системы.
2. Линейные и нелинейные системы автоматического управления.
3. Стационарные и нестационарные системы управления.

Цели, задачи: Ввести основные понятия и определения курса, указать место дисциплины в сфере теории управления и в учебном процессе. Ознакомить студентов со структурой курса, содержанием лабораторных занятий, требованиями Государственного образовательного стандарта. Рекомендовать основную и дополнительную литературу, дать методические указания по изучению дисциплины и организации самостоятельной работы студентов, ознакомить студентов с формами текущего и итогового контроля по дисциплине. Ознакомить студентов с основными классами систем автоматического управления.

Ключевые вопросы: 1) Что такое управление? 2) На какие классы делятся все автоматические системы? 3) Какие системы являются непрерывными? 4) Какие системы называются дискретными? 5) Типы дискретизации. 6) Отличие линейных систем от нелинейных. 7) Применение стационарных систем. 8) Основные виды нестационарных систем управления.

Ссылки на литературные источники:

1.10.1 – 1.10.3, 1.10.5 – 1.10.10.

Лекция 2: Математическое моделирование процессов в автоматических системах. Дифференциальные уравнения. Передаточные функции.

План:

1. Методика составления уравнений.
2. Структурные схемы.
3. Аппарат передаточных функций.

Цели, задачи: Познакомить студентов с математическими моделями систем автоматического управления. Рассмотреть методики составления уравнений, описывающих процессы в системах управления, правила построения структурных схем автоматических систем. Изучить аппарат передаточных функций. Разъяснить студентам основные понятия передаточных функций и матриц. Закрепить изучаемый материал практическими примерами.

Ключевые вопросы: 1) Назовите первый пример системы автоматического управления. 2) Какими уравнениями могут описываться процессы в автоматических системах? 3) Поясните модели непрерывных систем с сосредоточенными параметрами. 4) Используя какую информацию о системе можно построить ее структурную схему? 5) Что отражает структурная схема системы? 6) Напишите преобразование Лапласа. 7) Определение передаточной функции. 8) Поясните на примерах нахождение передаточной функции.

2.2 Раздел 2. Теория линейных систем автоматического управления непрерывного действия.

Лекция 3: Математическое описание линейных систем. Типовые динамические звенья.

План:

1. Линеаризация уравнений.
2. Статические звенья.
3. Интегрирующие звенья.
4. Дифференцирующие звенья.

Цели, задачи: Познакомить студентов с линеаризацией уравнений. Рассмотреть группы типовых динамических звена: временные и частотные характеристики, привести примеры.

Ключевые вопросы: 1) Какие допущения используются при линеаризации уравнений? 2) Каким уравнением описывается установившееся состояние звена? 3) Чем отличается линеаризованное уравнение звена от исходного уравнения? 4) Поясните первую форму записи линейного уравнения. 5) Сформулируйте принцип суперпозиции. 6) Поясните вторую форму записи уравнений динамических звеньев. 7) Запишите уравнение безынерционного звена. 8) Запишите передаточную функцию инерционного звена 1-го порядка. 9) Постройте график переходного процесса инерционного звена 1-го порядка. 10) Запишите уравнение весовой функции инерционного звена 2-го порядка. 11) Постройте график амплитудно-частотной характеристики инерционного звена 1-го порядка. 12) Приведите физический пример колебательного звена. 13) Постройте график амплитудно-фазочастотной характеристики колебательного звена. 14) Запишите уравнение идеального интегрирующего звена. 15) Запишите

передаточную функцию интегрирующего звена с замедлением. 16) Постройте график переходного процесса идеального интегрирующего звена. 17) Запишите уравнение весовой функции интегрирующего звена с замедлением. 18) Постройте график амплитудно-частотной характеристики идеального интегрирующего звена. 19) Приведите физический пример интегрирующего звена с замедлением. 20) Постройте график амплитудно-фазочастотной характеристики интегрирующего звена с замедлением. 21) Запишите уравнение идеального дифференцирующего звена. 22) Запишите передаточную функцию реального дифференцирующего звена. 23) Постройте график переходного процесса идеального дифференцирующего звена. 24) Запишите уравнение весовой функции реального дифференцирующего звена. 25) Постройте график амплитудно-частотной характеристики идеального дифференцирующего звена. 26) Приведите физический пример реального дифференцирующего звена. 27) Постройте график амплитудно-фазочастотной характеристики реального дифференцирующего звена.

Ссылки на литературные источники:

1.10.1 – 1.10.3, 1.10.5 – 1.10.10.

Лекция 4: Устойчивость линейных систем управления.

План:

1. Условие устойчивости линейных систем.
2. Границы устойчивости.
3. Критерии устойчивости.

Цели, задачи: Ввести для студентов основные понятия устойчивости. Рассмотреть границы устойчивости, критерии устойчивости линейных систем. Сформировать у студентов навыки по применению рассмотренных критериев устойчивости.

Ключевые вопросы: 1) Поясните понятие устойчивости. 2) Сформулируйте необходимые и достаточные условия устойчивости линейных систем. 3) Кем сформулирована математическая теория устойчивости. 4) Назовите границы устойчивости. 5) Поясните апериодическую границу устойчивости. 6) Поясните колебательную границу устойчивости. 7) Поясните границу устойчивости бесконечного корня. 8) Что такое матрица Гурвица? 9) Сформулируйте критерий устойчивости Раussa-Гурвица. 10) Необходимые и достаточные условия устойчивости для линейной системы второго порядка. 11) Сформулируйте критерий устойчивости Михайлова. 12) Следствие критерия Михайлова. 13) Нарисуйте годограф Михайлова устойчивой системы 4-го порядка. 14) Сформулируйте критерий устойчивости Найквиста. 15) Определение минимально-фазовой передаточной функции. 16) Определение гурвицевой передаточной функции. 17) Сформулируйте критерий устойчивости Найквиста для минимально-фазовой гурвицевой передаточной функции. 18) Сформулируйте критерий устойчивости Найквиста для минимально-фазовой негурвицевой передаточной функции.

Ссылки на литературные источники:

1.10.1 – 1.10.3, 1.10.5 – 1.10.6.

Лекция 5: Качество переходных процессов в линейных системах автоматического управления.

План:

1. Оценка точности в режимах стабилизации и слежения.
2. Прямые показатели качества.
3. Корневой и интегральные методы оценки качества систем автоматического управления.
4. Частотные критерии оценки качества систем автоматического управления.

Цели, задачи: Сформировать у студентов устойчивые навыки по определению передаточных функций различных систем и нахождению установившихся ошибок в режимах стабилизации и слежения для статических и астатических систем управления. Ввести понятия прямых и косвенных показателей качества систем управления. Для каждого показателя подробно разобрать примеры использования.

Ключевые вопросы: 1) Как определить передаточную функцию разомкнутой системы? 2) Как определить передаточную функцию замкнутой системы, если известна передаточная функция соответствующей разомкнутой системы? 3) Чему равна установившаяся ошибка в режиме стабилизации для статической системы? 4) Чему равна установившаяся ошибка в режиме стабилизации для астатической системы? 5) Чему равна установившаяся ошибка в режиме слежения для статической системы? 6) Чему равна установившаяся ошибка в режиме слежения для астатической системы? 7) Какая гипотеза применяется для получения установившейся ошибки в режиме слежения? 8) Понятие времени регулирования. 9) По какой характеристике определяется время регулирования? 10) Определение перерегулирования. 11) Формула нахождения перерегулирования. 12) Определение колебательности. 13) Понятие степени устойчивости. 14) Как можно оценить время переходного процесса, если известна степень устойчивости системы? 15) Определение степени колебательности. 16) Понятие затухания за период. 17) Какую оценку дают интегральные методы? 6) Приведите пример простейшей интегральной оценки. 18) Для каких систем применяется квадратичная интегральная оценка? 19) Чем вызвана необходимость использования улучшенной интегральной оценки качества. 20) Какая связь существует между вещественной частотной характеристикой замкнутой системы и переходным процессом? 21) Что определяет начало вещественной частотной характеристикой замкнутой системы? 22) Что определяет максимальное значение вещественной частотной характеристикой замкнутой системы? 23) Какому условию должна удовлетворять вещественная частотная характеристика замкнутой системы, если переходной процесс монотонный? 24) Какой показатель позволяет оценить частотный критерий качества? 25) Поясните методику применения частотного критерия качества.

Ссылки на литературные источники:

1.10.1 – 1.10.3, 1.10.5 – 1.10.6.

Лекция 6: Коррекция динамических свойств и порядок синтеза линейных систем автоматического управления.

План:

1. Типовые законы регулирования.
2. Корректирующие устройства.
3. Электрические корректирующие устройства.

Цели, задачи: Рассмотреть типовые законы регулирования, особенности их практического применения. Пояснить способы использования корректирующих устройств.

Ключевые вопросы: 1) Определение закона регулирования. 2) Передаточная функция П-регулятора. 3) Структурная схема ПИ-регулятора. 4) Какой из регуляторов наиболее помехозащищен? 5) Каким образом технически реализуется ПИД-регулятор? 5) Понятие корректирующего звена. 6) Назовите способы коррекции систем управления. 7) Запишите формулу для нахождения передаточной функции желаемой системы, если используется последовательное корректирующее устройство. 8) Нарисуйте схему подключения параллельного корректирующего устройства. 9) Какие электрические корректирующие устройства называются пассивными? 10) Приведите пример пассивного дифференцирующего звена. 11) Как изменяют качества системы пассивные интегрирующие звенья?

Ссылки на литературные источники:

1.10.1 – 1.8.10.

2.3 Раздел 3. Теория нелинейных систем автоматического управления.

Лекция 7: Особенности нелинейных систем автоматического управления.

План:

1. Нелинейные системы.
2. Типовые нелинейные элементы и их характеристики.
3. Метод припасовывания.

Цели, задачи: Ввести понятия нелинейных систем. Рассмотреть основные типы нелинейных элементов.

Ключевые вопросы: 1) Какая нелинейность называется существенной? 2) Дайте опре-

деление нелинейной системы управления. 3) Назовите основные типы существенных нелинейностей. 4) Какие системы относят к нелинейным системам первого типа? 5) приведите график характеристики нелинейного элемента с насыщением. 6) Запишите уравнение характеристики нелинейного элемента с насыщением. 7) Поясните суть метода припасовывания.

Ссылки на литературные источники:

1.10.1 – 1.10.3, 1.10.5, 1.10.6.

Лекция 8: Устойчивость нелинейных систем автоматического управления.

План:

1. Понятия устойчивости нелинейных систем.
2. Понятие устойчивости по Ляпунову. Прямой метод Ляпунова.
3. Критерий абсолютной устойчивости.

Цели, задачи: Рассмотреть различные типы устойчивости нелинейных элементов. Сформировать у студентов понятие устойчивости нелинейных систем по Ляпунову и навык применения второго метода Ляпунова для исследования устойчивости нелинейных систем. Рассмотреть частотные методы исследования устойчивости нелинейных систем. Пояснить особенности их применения.

Ключевые вопросы: 1) Дайте определение нелинейной системы устойчивой в малом. 2) Дайте определение нелинейной системы устойчивой в большом. 3) Дайте определение нелинейной системы устойчивой в целом. 4) Охарактеризуйте режим автоколебаний. 5) Понятие устойчивости по Ляпунову. 6) Каков геометрический образ устойчивости по Ляпунову в фазовом пространстве? 7) Дайте определение знакоопределенной функции. 8) Дайте определение функции Ляпунова. 9) Сформулируйте теорему Ляпунова об устойчивости нелинейных систем. 10) Дайте определение асимптотической устойчивости. 11) Приведите пример использования второго метода Ляпунова. 12) Понятие абсолютной устойчивости. 13) Поясните условие сектора. 14) Сформулируйте теорему критерия абсолютной устойчивости. 15) Приведите графическую интерпретацию критерия абсолютной устойчивости. 16) Приведите пример использования критерия абсолютной устойчивости.

Ссылки на литературные источники:

1.10.1 – 1.10.3, 1.10.5, 1.10.6.

Лекция 9: Качество и коррекция переходных процессов в нелинейных системах автоматического управления.

План:

1. Методы оценки качества переходных процессов в нелинейных системах.
2. Коррекция динамических свойств нелинейных систем автоматического управления.

Цели, задачи: Рассмотреть методы оценки качества и осуществления коррекции нелинейных систем управления. Сформировать у студентов навыки применения исследуемых методов на практике.

Ключевые вопросы: 1) Назовите показатели качества нелинейных систем. 2) Как оценить длительность переходного процесса по степени устойчивости нелинейной системы? 3) Определение степени устойчивости нелинейной системы с помощью гармонической линеаризации. 4) Могут ли для коррекции нелинейных систем применяться корректирующие устройства, применяемые для коррекции линейных систем? 5) Назовите нелинейные корректирующие звенья. 6) Какую коррекцию осуществляют переключающие нелинейные корректирующие звенья?

Ссылки на литературные источники:

1.10.1 – 1.10.3, 1.10.5, 1.10.6.

3 МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ

3.1 Методические указания по изучению дисциплины

Для оптимальной организации изучения дисциплины студентам рекомендуется следовать следующим методическим указаниям.

Студенты обязаны присутствовать на занятиях и выполнять все предусмотренные учебно-методическим комплексом дисциплины формы учебной работы; проходить промежуточный и итоговый контроль в виде защит лабораторных работ, аттестации в форме письменного опроса; сдачи зачета в предлагаемой преподавателем форме.

Дисциплина «Модели систем автоматического управления» изучается магистрантами в 3 семестре обучения. Курс предусматривает 18 часов лекционных занятий, 18 часов лабораторных занятий и заканчивается зачетом. На самостоятельную работу студентов отводится 72 часа.

Изучение теоретической части курса предусматривает рассмотрение следующих разделов (в скобках указан объем, затрачиваемый на изучение раздела в часах).

Раздел 1. Классификация и математическое описание систем автоматического управления. (4 часа)

Тема 1. Непрерывные системы и дискретные системы. Линейные и нелинейные системы автоматического управления. Стационарные и нестационарные системы управления.

Тема 2. Математическое моделирование процессов в автоматических системах. Дифференциальные уравнения. Передаточные функции.

Раздел 2. Теория линейных систем автоматического управления непрерывного действия. (8 часов)

Тема 1. Математическое описание линейных систем. Типовые динамические звенья.

Тема 2. Устойчивость линейных систем управления.

Тема 3. Качество переходных процессов в линейных системах автоматического управления.

Тема 4. Коррекция динамических свойств и порядок синтеза линейных систем автоматического управления.

Раздел 3. Теория нелинейных систем автоматического управления. (6 часов)

Тема 1. Особенности нелинейных систем автоматического управления.

Тема 2. Устойчивость нелинейных систем автоматического управления.

Тема 3. Качество и коррекция переходных процессов в нелинейных системах автоматического управления.

Каждая лекция содержит необходимый объем теоретического материала. В дополнение к лекционному материалу, студентам рекомендуется использовать основную и дополнительную литературу согласно перечню, приведенному в п.1.10.

Студенты в рамках аудиторных занятий должны, в целом, владеть понятийным аппаратом, основанном на ранее изученных дисциплинах, воспринимать теоретический материал основного содержания лекции, видеть причинно-логические связи в лекции, понимать схему решения примеров, приводимых в лекции. Для освоения темы каждой лекции на более глубоком уровне требуется дополнительная работа с теоретическим материалом в форме прочтения основной и дополнительной литературы, самостоятельной работы с лекцией.

Для выполнения лабораторной работы необходимо освоить теоретические основы соответствующего раздела, ответить на контрольные вопросы, выполнить задания лабораторной работы.

3.2 Методические указания к лабораторным занятиям

Курс предусматривает лабораторные занятия по следующим темам (в скобках указан объем в часах, отводимый на выполнение каждой работы).

Лабораторные занятия:

1. Вводное занятие. Знакомство с интерфейсом, структурой и назначением программного комплекса ОТУ. (2 часа)

2. Исследование характеристик звеньев 1-го порядка. (2 часа)

3. Исследование характеристик звеньев 2-го порядка и типовых соединений в линейных системах управления. (2 часа)

4. Исследование частотных характеристик линейных систем управления. (2 часа)
 5. Исследование устойчивости систем управления с обратной связью. (2 часа)
 6. Исследование статических и скоростных ошибок замкнутых систем. (2 часа)
 7. Изучение типовых законов регулирования. (2 часа)
 8. Исследование влияния корректирующих звеньев на процессы управления в замкнутых системах. (2 часа)
 9. Исследование динамики нелинейных систем первого типа. (2 часа)
- Лабораторные работы выполняются и сдаются парами (работа в команде).

Лабораторный курс методически поддержан пособием, указанном в п.1.10.4. В практикуме, ориентированном на пакет ОТУ, изложены принципы работы с системами автоматического управления, методы исследования и анализа линейных и нелинейных систем. Все инструкции изложены подробно, на примерах, с использованием справочных материалов. К каждой лабораторной работе приводится список заданий для самостоятельного выполнения и контрольные вопросы.

Кроме того, студентам рекомендуется использовать основную и дополнительную литературу согласно перечню, приведенному в п.1.10, обращая внимание на практические аспекты использования пакета ОТУ. После выполнения по каждой работе, кроме первой, готовится отчет и каждая лабораторная работа подлежит защите. Преподаватель проверяет правильность выполнения заданий, ответы на контрольные вопросы и может студенту предложить дополнительное индивидуальное задание по теме лабораторной работы.

Сроки защиты лабораторных работ ограничены отведенным на выполнение практикума аудиторным временем – 18 часов. Необходимым условием допуска студента к сдаче зачета является сдача всех лабораторных работ.

3.3 Методические указания по самостоятельной работе студентов

На самостоятельную работу студента по дисциплине «Основы теории управления» отводится 72 часа.

Схема самостоятельной работы студентов, перечень тем, рекомендации по работе с литературой, рекомендации по подготовке к аттестации:

Неделя семестра	Тема и/или форма самостоятельной работы, рекомендация по работе с литературой	Кол-во часов, отведенных на самостоятельную работу
1-4	Классификация и математическое описание систем автоматического управления. Самостоятельная работа по подготовке к лабораторным работам. Рекомендуется использование лекций по этой теме, литературных источников 1.10.1 – 1.10.6, указанных в перечне основной и дополнительной литературы; Интернет-ресурсов http://www.iqlib.ru , http://elibrary.ru , периодических изданий 1.10.7 – 1.10.10	16
5-12	Теория линейных систем автоматического управления непрерывного действия. Самостоятельная работа по подготовке к лабораторным работам. Рекомендуется использование лекций по этой теме, литературных источников 1.10.1 – 1.10.6, указанных в перечне основной и дополнительной литературы; Интернет-ресурсов http://www.iqlib.ru , http://elibrary.ru , периодических изданий 1.10.7 – 1.10.10	32
13-18	Теория нелинейных систем автоматического управления. Самостоятельная работа по подготовке к лабораторным работам. Рекомендуется использование лекций по этой теме, литературных источников 1.10.1 – 1.10.6, указанных в перечне основной и дополнительной литературы; Интернет-ресурсов	24

4 КОНТРОЛЬ ЗНАНИЙ

4.1 Текущий контроль знаний

Оценочные средства для текущего контроля успеваемости и для промежуточной аттестации: зачетная система оценки знаний учащихся.

Текущий контроль за аудиторной и самостоятельной работой обучаемых осуществляется во время проведения лабораторных занятий посредством устного опроса по контрольным вопросам соответствующего занятия, а также проверки заданий лабораторных работ. Промежуточный контроль осуществляется четыре раза в семестр в виде письменного опроса по основным понятиям и определениям изучаемых разделов лекционного курса. Перечень вопросов приведен в ключевых вопросах лекций п. 2. Третий промежуточный контроль может быть проведен в качестве тестирования, в который включены тесты по трем изученным разделам.

Примерный вариант теста

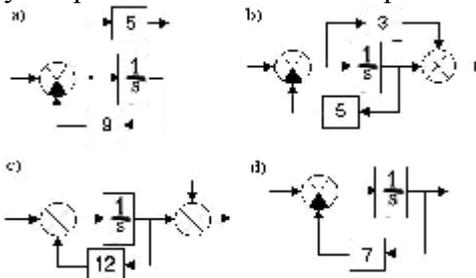
1. Укажите передаточную функцию реально дифференцирующего звена:

a) $W(p) = \frac{2p+1}{3p+8}$	b) $W(p) = \frac{3}{2p+7}$	c) $W(p) = \frac{p}{p+6}$	d) $W(p) = \frac{2p}{p^2+9}$
-------------------------------	----------------------------	---------------------------	------------------------------

2. Сигнал, обладающий свойством $\int_{-\infty}^{\infty} d(t)dt = 1$ называется:

a) Дельта-функцией	b) функцией Дирака	c) весовой функцией	d) функция Ляпунова
--------------------	--------------------	---------------------	---------------------

3. Укажите структурную схему аperiodического звена первого порядка:



4. Укажите уравнение переходного процесса для звена: $W(s) = \frac{T_1 s}{T_2 s + 1}$

a) $h(t) = T_1 \left(T_2 - e^{-\frac{t}{T_2}} \right)$	b) $h(t) = \frac{T_1}{T_2} \cdot e^{-\frac{t}{T_2}}$	c) $h(t) = \frac{T_2}{T_1} \cdot e^{-\frac{t}{T_1}}$	d) $h(t) = 1 - e^{-\frac{T_1}{T_2} t}$
---	--	--	--

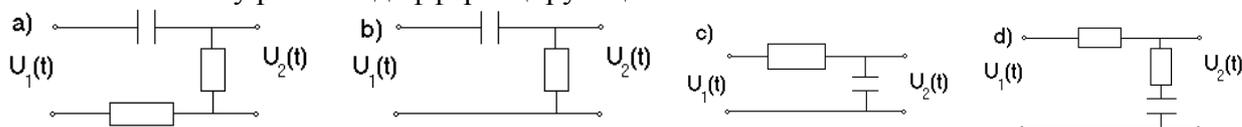
5. Интервалом времени от момента подачи единичной ступени на вход до момента, начиная с которого переходной процесс попадает в зону заданной точности и больше ее не покидает называется:

a) время настройки	b) время регулирования	c) время адаптации	d) время реакции
--------------------	------------------------	--------------------	------------------

6. Уравнение переходного процесса для интегрирующего звена с замедлением имеет вид

a) $h(t) = k \left[1 - e^{-\frac{t}{T}} \right]$	b) $h(t) = k \left[e^{-\frac{t}{T}} - 1 - t \right]$	c) $h(t) = k \left[t - T + T e^{-\frac{t}{T}} \right]$	d) $h(t) = k \left[1 - T \cdot t - T e^{-\frac{t}{T}} \right]$
---	---	---	---

7. Укажите схему реально дифференцирующего звена

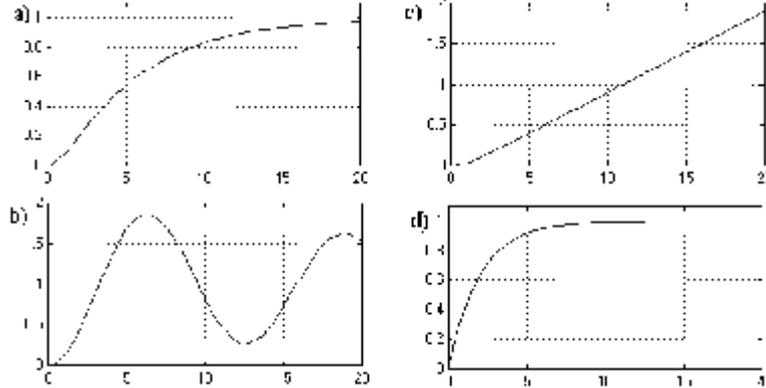


8. Если передаточная функция звена представлена уравнением

$$W(p) = \frac{k}{T_2^2 p^2 + T_1 p + 1}, \quad T_1^2 - 4T_2^2 < 0, \quad \text{то величина } x = \frac{T_1}{2T_2} \text{ называется}$$

a) степень устойчивости	b) коэффициент затухания	c) степень затухания	d) собственной частотой колебаний
-------------------------	--------------------------	----------------------	-----------------------------------

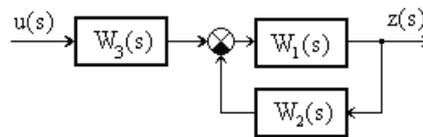
9. Укажите переходный процесс интегрирующего звена с замедлением



10. Переходный процесс колебательного звена имеет вид

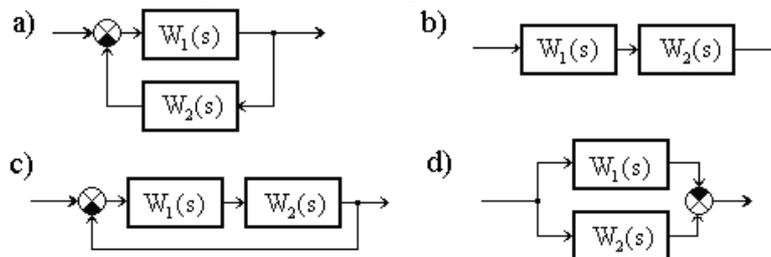
a) $h(t) = 1 + \frac{g}{x \cdot I} \cdot e^{-g \cdot t} \cdot \sin(1t + j)$	b) $h(t) = k \cdot \left[1 - \frac{g}{x \cdot I} \cdot e^{-g \cdot t} \cdot \sin(1t + j) \right]$	c) $h(t) = -\frac{g}{x \cdot I} \cdot e^{-g \cdot t} \cdot \sin(1t - j)$	d) $h(t) = k + 1 + \frac{g}{x \cdot I} \cdot e^{-g \cdot t} \cdot \sin(1t + j)$
--	---	---	--

11. Общая передаточная функция звена, представленного на рисунке, имеет вид

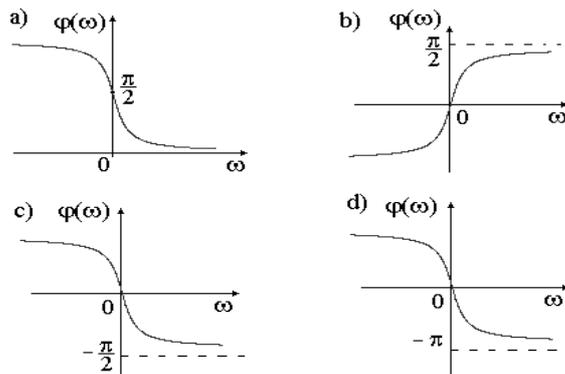


a) $W(s) = \frac{W_1(s) \cdot W_2(s) \cdot W_3(s)}{1 - W_1(s) \cdot W_2(s)}$	b) $W(s) = \frac{W_1(s) \cdot W_3(s)}{1 + W_1(s) \cdot W_2(s)}$	c) $W(s) = \frac{W_1(s) \cdot W_2(s)}{1 + W_1(s) \cdot W_2(s) \cdot W_3(s)}$	d) $W(s) = \frac{1 + W_1(s) \cdot W_2(s)}{W_1(s) \cdot W_2(s) \cdot W_3(s)}$
---	--	---	---

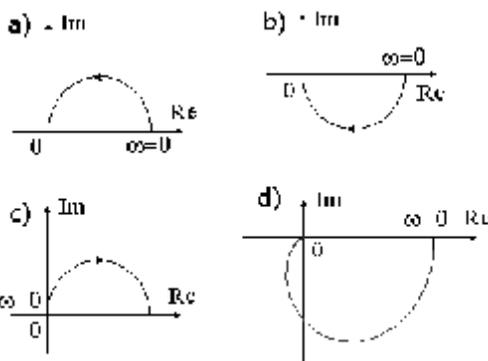
12. Укажите схему, на которой представлено параллельное соединение звеньев



13. Укажите график фазовой частотной характеристики аperiodического звена первого порядка



14. Укажите годограф реально-дифференцирующего звена ($\omega > 0$)



15. Укажите уравнение, по которому можно вычислить фазовую частотную характеристику звена с передаточной функцией

$$W(j\omega) = k \cdot \frac{\operatorname{Re} Q(j\omega) + j \operatorname{Im} Q(j\omega)}{\operatorname{Re} R(j\omega) + j \operatorname{Im} R(j\omega)}$$

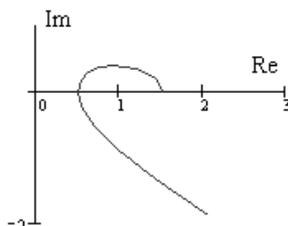
$$\varphi(\omega) = \operatorname{arctg} \frac{\operatorname{Re} R(j\omega)}{\operatorname{Re} Q(j\omega)} - \operatorname{arctg} \frac{\operatorname{Im} R(j\omega)}{\operatorname{Im} Q(j\omega)},$$

$$\varphi(\omega) = -\operatorname{arctg} \frac{\operatorname{Im} Q(j\omega)}{\operatorname{Re} Q(j\omega)} + \operatorname{arctg} \frac{\operatorname{Im} R(j\omega)}{\operatorname{Re} R(j\omega)},$$

$$\varphi(\omega) = \operatorname{arctg} \frac{\operatorname{Im} Q(j\omega)}{\operatorname{Im} R(j\omega)} - \operatorname{arctg} \frac{\operatorname{Re} Q(j\omega)}{\operatorname{Re} R(j\omega)},$$

$$\varphi(\omega) = \operatorname{arctg} \frac{\operatorname{Im} Q(j\omega)}{\operatorname{Re} Q(j\omega)} - \operatorname{arctg} \frac{\operatorname{Im} R(j\omega)}{\operatorname{Re} R(j\omega)}.$$

16. Если годограф Михайлова исследуемой системы имеет вид, представленный на рисунке



то система является

a) абсолютно устойчивой	b) устойчивой	c) неустойчивой	d) условно устойчивой
-------------------------	---------------	-----------------	-----------------------

17. Укажите уравнение амплитудной частотной характеристики апериодического звена 2-го порядка

$$W(s) = \frac{k}{(T_3 s + 1)(T_4 s + 1)}$$

$$a) A(\omega) = \frac{k(1 - T_3^2 \omega^2)}{\sqrt{(1 - T_3^2 \omega^2)^2 + 4T_4^2 \omega^2}},$$

$$b) A(\omega) = \frac{k}{\sqrt{(T_3^2 \omega^2 + 1)(T_4^2 \omega^2 + 1)}},$$

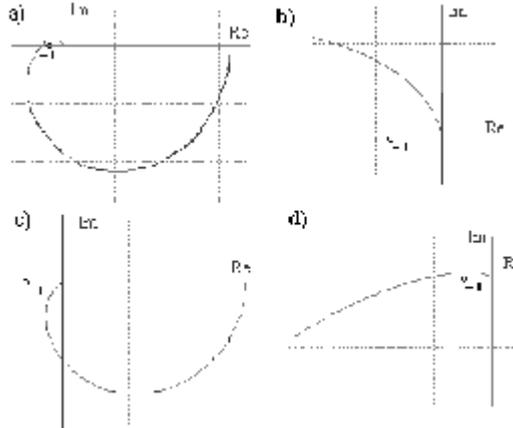
$$c) A(\omega) = \frac{kT_3 T_4 \omega}{\sqrt{(T_3^2 \omega^2 + 1)(T_4^2 \omega^2 + 1)}},$$

$$d) A(\omega) = \frac{k(T_3 T_4 + 1)}{\sqrt{(T_3^2 \omega^2 + 1)(T_4^2 \omega^2 + 1)}}.$$

18. Если характеристическое уравнение исследуемой системы имеет вид $D(p) = a_0 p^5 + a_1 p^4 + a_2 p^3 + a_3 p^2 + a_4 p + a_5$, то укажите верную матрицу Рауса-Гурвица

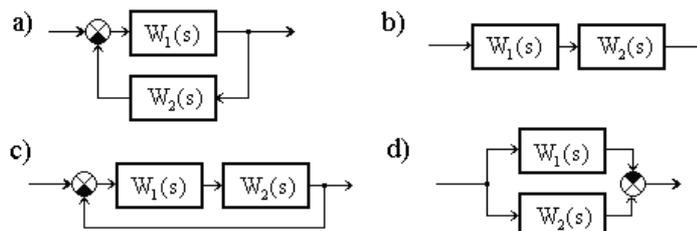
a) $\begin{vmatrix} a_1 & a_3 \\ a_0 & a_2 \end{vmatrix}$, b) $\begin{vmatrix} a_1 & a_3 & a_5 & 0 & 0 \\ a_0 & a_2 & a_4 & 0 & 0 \\ 0 & a_1 & a_3 & a_5 & 0 \\ 0 & a_0 & a_2 & a_4 & 0 \\ 0 & 0 & a_1 & a_2 & a_5 \end{vmatrix}$, c) $\begin{vmatrix} a_1 & a_3 & a_5 \\ a_0 & a_2 & a_4 \\ 0 & a_1 & a_3 \end{vmatrix}$, d) $\begin{vmatrix} a_1 & a_3 & a_5 & 0 & 0 \\ a_0 & a_2 & a_4 & 0 & 0 \\ a_1 & a_2 & a_3 & a_4 & a_5 \\ a_0 & a_1 & a_2 & a_3 & a_4 \\ 0 & 0 & a_1 & a_2 & a_5 \end{vmatrix}$

19. Укажите устойчивый годограф Найквиста



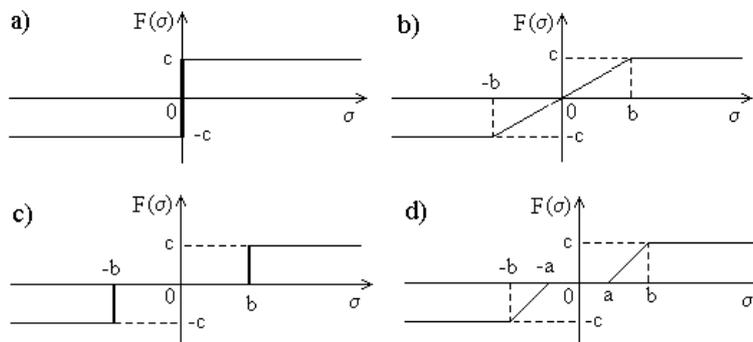
20. Укажите схему, на которой представлено соединение с итоговой передаточной функцией

$$W(s) = \frac{W_1(s)}{1 + W_1(s)W_2(s)}$$

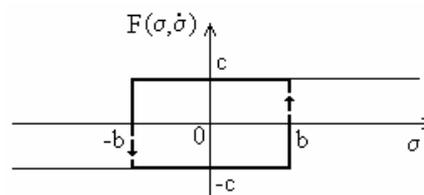


21. Укажите, какой нелинейный элемент описывается уравнением

$$F(s) = \begin{cases} c, & s > b, \\ \frac{c}{b} \cdot s, & -b \leq s \leq b, \\ -c, & s < -b. \end{cases}$$



22. Укажите уравнение, которым описывается нелинейный элемент



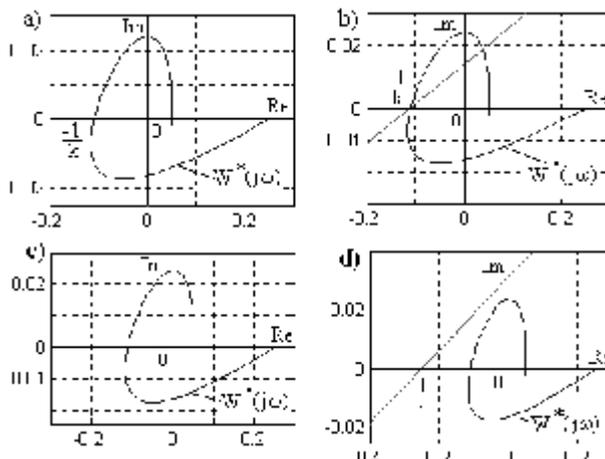
$$a) h(0, t) = -\int_0^t z(s)x(s)ds > -g_0^2 = const,$$

$$b) h(0, t) = \int_0^t z(s)x(s)ds < -g_0^2 = const,$$

$$c) h(0, t) = -\int_0^t z(s)x(s)ds \geq -g_0^2 = const,$$

$$d) h(0, t) = -\int_{x(0)}^{x(t)} z(s)x(s)ds \geq g(t) .$$

27. На рисунках представлена графическая интерпретация критерия абсолютной устойчивости В.М. Попова, где $W^*(j\omega)$ – видоизмененной АФЧХ линейной части исследуемой нелинейной системы управления. Укажите годографы устойчивых нелинейных систем управления.



4.2 Итоговый контроль знаний

Итоговый контроль осуществляется после успешного прохождения студентами текущего и промежуточного контроля в виде зачета.

Зачет сдается в конце третьего семестра. Форма сдачи зачета – устная. Необходимым условием допуска на зачет является сдача всех лабораторных работ. В предлагаемый билет входят два вопроса. Студент должен дать развернутые ответы на оба вопроса.

Перечень вопросов к зачету:

1. Основные понятия теории управления. Принципы управления в системах автоматического управления. Примеры.
2. Классификация систем автоматического управления.
3. Линеаризация систем автоматического управления. Первая форма записи.
4. Интегральные преобразования Лапласа. Вторая форма записи.
5. Модели систем автоматического управления в пространстве состояний.
6. Типовые соединения и передаточные функции систем автоматического управления.
7. Инерционное звено 1-ого порядка.
8. Инерционное звено 2-ого порядка.
9. Идеальное интегрирующее звено.
10. Интегрирующее звено с замедлением.
11. Идеальное дифференцирующее звено.
12. Реальное дифференцирующее звено.
13. Звено с чистым запаздыванием.
14. Устойчивость систем автоматического управления. Необходимые и достаточные условия устойчивости.
15. Граница устойчивости и ее типы.
16. Критерий устойчивости Рауса-Гурвица.
17. Критерий устойчивости Михайлова.
18. Критерий устойчивости Найквиста
19. Оценка установившейся точности в режимах стабилизации и слежения.

20. Качество систем автоматического управления. Прямые показатели качества. Оценка быстродействия и запаса устойчивости.
21. Корневой и интегральные методы оценки качества систем автоматического управления.
22. Частотный критерий оценки качества систем автоматического управления.
23. Типовые регуляторы и коррекция систем автоматического управления.
24. Особенности нелинейных систем автоматического управления.
25. Метод фазовой плоскости.
26. Прямой метод Ляпунова и его применение.
27. Критерий абсолютной устойчивости.
28. Методы оценки качества переходных процессов в нелинейных системах.
29. Особенности коррекции динамических свойств нелинейных систем.
30. Нелинейные корректирующие звенья.

5 ИНТЕРАКТИВНЫЕ ТЕХНОЛОГИИ И ИННОВАЦИОННЫЕ МЕТОДЫ, ИСПОЛЬЗУЕМЫЕ В ОБРАЗОВАТЕЛЬНОМ ПРОЦЕССЕ

Используемые образовательные технологии изложены в п. 1.8.