

**МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ**
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования
«Воронежский государственный технический университет»

УТВЕРЖДАЮ

Декан факультета
к.т.н., доцент

Бурковский А.В.
«31» августа 2021 г.



РАБОЧАЯ ПРОГРАММА
дисциплины
«Теория автоматического управления»

Направление подготовки 13.03.02 Электроэнергетика и электротехника

Профиль Электромеханика

Квалификация выпускника бакалавр

Нормативный период обучения 4 года

Форма обучения очная

Год начала подготовки 2021

Автор программы
к.т.н., доцент


/Винокуров С.А./

Заведующий кафедрой
Электропривода,
автоматики и управления в
технических системах
д.т.н., профессор


/Бурковский В.Л./

Руководитель ОПОП
к.т.н., доцент


/Тикунов А.В./

Воронеж 2021

1. ЦЕЛИ И ЗАДАЧИ ДИСЦИПЛИНЫ

1.1. Цели дисциплины

формирование у студентов прочной теоретической базы по современным методам исследования систем управления, которая позволит им успешно решать теоретические и практические задачи в их профессиональной деятельности, связанной с получением математического описания, моделированием, анализом, проектированием, испытаниями и эксплуатацией современных систем управления.

1.2. Задачи освоения дисциплины

классифицировать объекты и системы управления и описывать происходящие в них динамические процессы;

анализировать структуру и математическое описание систем управления с целью определения областей их устойчивой и качественной работы;

проводить синтез систем и исследование их свойств.

2. МЕСТО ДИСЦИПЛИНЫ В СТРУКТУРЕ ОПОП

Дисциплина «Теория автоматического управления» относится к дисциплинам вариативной части блока Б1.

3. ПЕРЕЧЕНЬ ПЛАНИРУЕМЫХ РЕЗУЛЬТАТОВ ОБУЧЕНИЯ ПО ДИСЦИПЛИНЕ

Процесс изучения дисциплины «Теория автоматического управления» направлен на формирование следующих компетенций:

ПК-1 - Способен выполнять научно-исследовательские и опытно-конструкторские разработки по отдельным разделам тем

Компетенция	Результаты обучения, характеризующие сформированность компетенции
ПК-1	Знать принцип действия современных систем управления и особенности протекающих в них процессов
	Уметь использовать полученную в результате обучения теоретическую и практическую базу для получения математического описания объектов и систем в виде дифференциальных уравнений, структурных схем; построения их характеристик и моделирования
	Владеть навыками использования полученных знаний при решении практических задач по расчету, анализу устойчивости, качества, проектированию систем управления

4. ОБЪЕМ ДИСЦИПЛИНЫ

Общая трудоемкость дисциплины «Теория автоматического управления» составляет 7 з.е.

**Распределение трудоемкости дисциплины по видам занятий
очная форма обучения**

Виды учебной работы	В сего часов	Семестр ы	
		5	6
Аудиторные занятия (всего)	126	72	54
В том числе:			
Лекции	54	36	18
Практические занятия (ПЗ)	36	18	18
Лабораторные работы (ЛР)	36	18	18
Самостоятельная работа	90	36	54
Курсовая работа	+		+
Часы на контроль	36	-	36
Виды промежуточной аттестации - экзамен, зачет	+	+	+
Общая трудоемкость академические часы з.е.	252 7	108 3	144 4

5. СОДЕРЖАНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ (МОДУЛЯ)

5.1 Содержание разделов дисциплины и распределение трудоемкости по видам занятий

очная форма обучения

п/п	Наименование темы	Содержание раздела	Лекц	Прак зан.	Лаб. зан.	СРС	Всего, час
	Основные понятия и определения теории автоматического управления	<p>Понятие системы автоматического управления (САУ). Общая характеристика САУ. Характеристика объектов управления и сигналов.</p> <p>Классификация САУ по фундаментальному признаку. Основные понятия и принципы построения САУ.</p> <p>Фундаментальные принципы управления: разомкнутое управление, управление по возмущению, по отклонению, комбинированное управление. Структурные схемы и особенности формирования управления в САУ различных принципов.</p> <p>Основные виды автоматического управления: стабилизация, следящее, про-</p>	10	6	6	14	36

		<p>граммное, оптимальное и адаптивное управление. Классификация САУ по принципам и видам управления, типу сигналов и характеристикам параметров системы.</p> <p>Установившиеся и переходные процессы в системах автоматического управления. Уравнения статики и динамики САУ.</p>					
	<p>Математическое описание систем автоматического управления</p>	<p>Понятие и принципы математического моделирования. Математическое описание линейных непрерывных САУ с помощью дифференциальных уравнений. Линеаризация характеристик и дифференциальных уравнений САУ.</p> <p>Векторно-матричные уравнения системы и уравнения в пространстве состояний. Применение операторного метода для решения уравнений системы.</p> <p>Преобразование Лапласа. Понятие о передаточной функции, связь передаточной функции с весовой и переходной характеристиками. Нули и полюса передаточной функции. Характеристический полином и характеристическое уравнение системы. Нули и полюсы передаточной функции САУ.</p> <p>Понятие динамического звена. Типовые динамические звенья и их характеристики. Временные, операторные и частотные характеристики позиционных динамических звеньев. Временные, операторные и частотные характеристики интегрирующих динамических звеньев. Временные, операторные и частотные характеристики дифференци-</p>	10	6	6	14	36

		<p>рующих динамических звеньев.</p> <p>Передаточные функции замкнутых систем по управляющему воздействию, возмущающему воздействию, передаточная функция САУ по ошибке. Временные, операторные и частотные характеристики различных типов САУ.</p>					
	Устойчивость линейных САУ	<p>Понятие устойчивости по Ляпунову. Теоремы об устойчивости А.М. Ляпунова. Алгебраические и частотные критерии устойчивости. Критерий Рауса. Критерий Гурвица. Типы границы устойчивости САУ. Определение границ колебательной и апериодической устойчивости.</p> <p>Частотные критерии оценки устойчивости САУ.</p> <p>Частотный критерий устойчивости А.В. Михайлова. Определение устойчивости и границ колебательной устойчивости. Определение уравнения кривой Михайлова и частоты колебаний на границе устойчивости.</p> <p>Частотный критерий оценки устойчивости Найквиста. Понятие запаса устойчивости. Определение запасов устойчивости по фазе и модулю по критерию устойчивости Найквиста.</p> <p>Определение устойчивости по логарифмическим амплитудно-фазовым частотным характеристикам разомкнутой системы. Запас по амплитуде и фазе в устойчивых системах. Определение областей устойчивости. Д-разбиение.</p>	10	6	6	14	36
	Анализ качества процессов регулирования САУ	<p>Понятие качества в линейных САУ. Оценка качества в установившихся переходных процессах. Ста-</p>	8	6	6	16	36

		<p>тические и астатические системы автоматического управления.</p> <p>Передаточная функция по ошибке. Коэффициенты ошибок.</p> <p>Методы расчета и оценки качества процесса регулирования в САУ.</p> <p>Оценка качества при гармоническом воздействии. Ошибка по амплитуде и частоте. Полоса пропускания, частота среза, запасы устойчивости по фазе и амплитуде (модулю).</p> <p>Корневые методы оценки качества САУ. Методы построения переходных процессов в САУ.</p> <p>Интегральные и частотные оценки качества САУ. Динамические и статические ошибки в системах автоматического управления. Связь между свойствами частотных характеристик и показателями качества переходного процесса.</p>					
	<p>Синтез корректирующих устройств и улучшение качества процессов регулирования</p>	<p>Повышение качества и синтез линейных САУ.</p> <p>Корректирующие средства, их классификация и особенности применения с целью улучшения динамических свойств САУ. Последовательные и параллельные корректирующие звенья.</p> <p>Введение местных обратных связей для повышения качества процесса регулирования. Параллельные корректирующие устройства. Коррекция САУ с помощью обратных связей. Влияние гибких и жестких обратных связей на процесс регулирования и качество САУ. Введение местных обратных связей для повышения качества процесса регулирования.</p>	8	6	6	16	36

		<p>Синтез корректирующих устройств по методу логарифмических амплитудно-фазовых частотных характеристик. Построение ЛАЧХ неизменяемой части системы. Методика построения желаемой ЛАЧХ по В.В. Солодовникову. Сопряжение асимптот, определение наклона участков ЛАЧХ. Упрощенное построение желаемой ЛАЧХ. Последовательные корректирующие устройства. Применение пропорционального (П), пропорционально-интегрального (ПИ), пропорционально-интегрально-дифференциального (ПИД) регуляторов. Влияние регуляторов на устойчивость и точность САУ. Выбор корректирующего устройства.</p>					
	<p>Инвариантные, нелинейные, дискретные и оптимальные САУ</p>	<p>Теория инвариантных систем автоматического управления. Понятие инвариантности. Инвариантные САУ, основные принципы их структурного построения. Комбинированное управление. Методы создания САУ, инвариантных по возмущающим воздействиям. Дискретные САУ и их классификация (импульсные, релейные, комбинированные САУ). Особенности процессов в дискретных системах. Понятия квантования по времени и уровню. Модуляция. Решетчатая функция. Дискретное преобразование Лапласа D-преобразование). Понятие дискретной передаточной функции. Z-преобразование. Связь преобразования Лапласа и Z-преобразования. Временные и частотные характеристики импульсных</p>	8	6	6	16	36

	<p>систем. Условия устойчивости и качества импульсных систем управления.</p> <p>Методы математического описания релейных и цифровых САУ. Оценка качества релейных систем. Особенности динамики релейных САУ, методы исследования. Линеаризованные цифровые САУ. Нелинейные САУ. Структурная схема обобщенной нелинейной САУ. Типовые нелинейные характеристики. Методы анализа нелинейных САУ. Основные типы нелинейных систем, их характеристики. Автоколебания. Особенности динамики нелинейных систем. Устойчивость нелинейных САУ. Критерий оценки устойчивости В.М. Попова. Метод фазовых траекторий. Исследование нелинейных САУ на фазовой плоскости.</p> <p>Задачи оптимального управления. Методы теории оптимального управления. Системы оптимального управления: принципы построения, методы анализа и синтеза. Критерии оптимальности. Понятие об адаптивных САУ, виды адаптивных систем.</p>					
	Контроль					36
	Итого	54	36	36	90	252

5.2 Перечень лабораторных работ

1. Преобразование структур звеньев и систем.
2. Частотный и временной анализ динамических звеньев САУ. Исследование логарифмических частотных характеристик динамических звеньев и систем
3. Влияние обратной связи на динамические свойства звеньев и систем автоматического управления
4. Устойчивость систем с обратной связью при изменении параметров звеньев
5. Оценка запаса устойчивости и быстродействия по переходной,

- амплитудной и вещественной частотным характеристикам
6. Оценка точности регулирования в системах автоматического управления
 7. Синтез систем автоматического регулирования на основе частотных критериев качества Выбор корректирующих устройств
 8. Исследование комбинированных систем автоматического регулирования.

6. ПРИМЕРНАЯ ТЕМАТИКА КУРСОВЫХ ПРОЕКТОВ (РАБОТ) И КОНТРОЛЬНЫХ РАБОТ

В соответствии с учебным планом освоение дисциплины предусматривает выполнение курсовой работы в 6 семестре для очной формы обучения, в 4 семестре для заочной формы обучения.

Примерная тематика курсовой работы – «Анализ и синтез линейных систем автоматического управления».

Курсовая работа состоит из трех разделов:

1. Анализ динамических звеньев систем автоматического управления.
2. Анализ линейных систем автоматического управления.
3. Синтез линейных систем автоматического управления.

Курсовая работа выполняется каждым студентом индивидуально, по заданию соответствующего варианта.

Во введении курсовой работы необходимо отразить актуальность разрабатываемой темы, сформулировать цель работы, а также задачи, которые необходимо решить в процессе выполнения заданий.

Расчетная часть курсовой работы содержит:

1. Определение передаточной функции динамического звена.
2. Расчет амплитудно-фазовых частотных характеристик.
3. Расчет временных характеристик при изменении рабочих параметров.
4. Расчет эквивалентных передаточных функций САУ по управляющему и возмущающему воздействиям.
5. Исследование на устойчивость с применением критерия Михайлова.
6. Исследование устойчивости системы с помощью ЛАФЧХ.
7. Синтез последовательного корректирующего звена.
8. Определение ошибки по амплитуде при отработке синусоидального сигнала.
9. Определение коэффициентов ошибки, оценка добротности системы автоматического управления по скорости и ускорению.

В заключении курсовой работы необходимо в систематизированном виде привести общие выводы по выполненным заданиям.

Все расчеты в курсовой работе выполняются с применением современных инструментальных средств моделирования и управления. Курсовая работа включает в себя расчетно-пояснительную записку.

7. ОЦЕНОЧНЫЕ МАТЕРИАЛЫ ДЛЯ ПРОВЕДЕНИЯ ПРОМЕЖУТОЧНОЙ АТТЕСТАЦИИ ОБУЧАЮЩИХСЯ ПО ДИСЦИПЛИНЕ

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

7.1.1 Этап текущего контроля

Результаты текущего контроля знаний и межсессионной аттестации оцениваются по следующей системе:

«аттестован»;

«не аттестован».

Компетенция	Результаты обучения, характеризующие сформированность компетенции	Критерии оценивания	Аттестован	Не аттестован
ПК-1	Знать Принцип действия современных систем управления и особенности протекающих в них процессов	Активная работа на учебных занятиях	Выполнение работ в срок, предусмотренный в рабочих программах	Невыполнение работ в срок, предусмотренный в рабочих программах
	Уметь использовать полученную в результате обучения теоретическую и практическую базу для получения математического описания объектов и систем в виде дифференциальных уравнений, структурных схем; построения их характеристик и моделирования	Решение стандартных практических задач	Выполнение работ в срок, предусмотренный в рабочих программах	Невыполнение работ в срок, предусмотренный в рабочих программах
	Владеть навыками использования полученных знаний при решении практических задач по расчету, анализу устойчивости, качества, проектированию систем управления	Решение прикладных задач в конкретной предметной области	Выполнение работ в срок, предусмотренный в рабочих программах	Невыполнение работ в срок, предусмотренный в рабочих программах

7.1.2 Этап промежуточного контроля знаний

Результаты промежуточного контроля знаний оцениваются в 5 семестре для очной формы обучения по двухбалльной системе:

«зачтено»

«не зачтено»

Компетенция	Результаты обучения, характеризующие сформированность компетенции	Критерии оценивания	Зачтено	Не зачтено
ПК-1	Знать Принцип действия современных систем управления и особенности протекающих в них процессов	Тест	Выполнение теста на 70-100%	Выполнение менее 70%
	Уметь использовать полученную в результате обучения теоретическую и практическую базу для получения математического описания объектов и систем в виде дифференциальных уравнений, структурных схем; построения их характеристик и моделирования	Решение стандартных практических задач	Продемонстрирован верный ход решения в большинстве задач	Задачи не решены
	Владеть навыками использования полученных знаний при решении практических задач по расчету, анализу устойчивости, качества, проектированию систем управления	Решение прикладных задач в конкретной предметной области	Продемонстрирован верный ход решения в большинстве задач	Задачи не решены

Результаты промежуточного контроля знаний оцениваются в 6 семестре для очной формы обучения по четырехбалльной системе:

«отлично»;

«хорошо»;

«удовлетворительно»;

«неудовлетворительно».

Компетенция	Результаты обучения, характеризующие сформированность компетенции	Критерии оценивания	Отлично	Хорошо	Удовл.	Неудовл.
ПК-1	Знать Принцип действия современных систем управления и особенности протекающих в них процессов	Тест	Выполнение теста на 90-100%	Выполнение теста на 80-90%	Выполнение теста на 70-80%	В тесте менее 70% правильных ответов
	Уметь использовать полученную в результа-	Решение стандартных практических задач	Задачи решены в полном объеме и получены	Продемонстрирован верный ход решения всех,	Продемонстрирован верный ход решения в большинстве	Задачи не решены

те обучения теоретическую и практическую базу для получения математического описания объектов и систем в виде дифференциальных уравнений, структурных схем; построения их характеристик и моделирования		верные ответы	но не получен верный ответ во всех задачах	задач	
Владеть навыками использования полученных знаний при решении практических задач по расчету, анализу устойчивости, качества, проектированию систем управления	Решение прикладных задач в конкретной предметной области	Задачи решены в полном объеме и получены верные ответы	Продемонстрирован верный ход решения всех, но не получен верный ответ во всех задачах	Продемонстрирован верный ход решения в большинстве задач	Задачи не решены

7.2 Примерный перечень оценочных средств (типовые контрольные задания или иные материалы, необходимые для оценки знаний, умений, навыков и (или) опыта деятельности)

7.2.1 Примерный перечень заданий для подготовки к тестированию

1. Что является целью управления в системе автоматического регулирования?

- 1) изменение регулируемой переменной по заранее известному закону;
- 2) поддержание регулируемой переменной на заданном уровне;
- 3) изменение регулируемой переменной по заранее неизвестному закону;
- 4) обеспечение стремления регулируемой переменной к нулю при $t \rightarrow \infty$

2. Что является целью управления в системе программного управления?

- 1) изменение регулируемой переменной по заранее известному закону;
- 2) поддержание регулируемой переменной на заданном уровне;
- 3) изменение регулируемой переменной по заранее неизвестному закону;
- 4) обеспечение стремления регулируемой переменной к нулю при $t \rightarrow \infty$

3. Что является целью управления в следящей системе?

- 1) изменение регулируемой переменной по заранее известному закону;
- 2) поддержание регулируемой переменной на заданном уровне;

- 3) изменение регулируемой переменной по заранее неизвестному закону;
- 4) обеспечение стремления регулируемой переменной к нулю при $t \rightarrow \infty$

4. Что такое передаточная функция системы (здесь y – выход, u – вход, L – преобразование Лапласа)?

- 1)
$$W(s) = \frac{y(s)}{u(s)};$$

- 2)
$$W(s) = L\left\{\frac{y(t)}{u(t)}\right\};$$

- 3)
$$W(s) = \frac{L\{u(t)\}}{L\{y(t)\}};$$

- 4)
$$W(s) = \frac{L\{y(t)\}}{L\{u(t)\}}.$$

5. Характеристическое уравнение системы это:

- 1) числитель передаточной функции, приравненный к нулю;
- 2) знаменатель передаточной функции, приравненный к нулю; +
- 3) уравнение, которое описывает частное вынужденное движение системы;
- 4) уравнение, которое описывает систему в общем виде.

6. Что такое переходная функция?

- 1) реакция системы на гармоническое входное воздействие;
- 2) реакция системы на единичное ступенчатое воздействие;
- 3) реакция системы на импульсное воздействие;
- 4) реакция системы на линейно растущий сигнал.

7. Что такое весовая функция?

- 1) реакция системы на гармоническое входное воздействие;
- 2) реакция системы на единичное ступенчатое воздействие;
- 3) реакция системы на импульсное воздействие;
- 4) реакция системы на линейно растущий сигнал.

8. Что такое ЛЧХ?

- 1) линейная частотная характеристика;
- 2) логарифмическая частотная характеристика;
- 3) логарифмическая частная характеристика;
- 4) линейная частная характеристика.

9. Где расположены корни характеристического полинома для устойчивой непрерывной САУ?

- 1) в левой полуплоскости комплексной плоскости;
- 2) на мнимой оси;
- 3) в правой полуплоскости комплексной плоскости;
- 4) в 1-ой и 2-ой четвертях.

10. Для устойчивой системы необходимо, чтобы:

- 1) свободный коэффициент характеристического полинома был равен нулю;

- 2) все коэффициенты характеристического полинома строго отрицательны;
- 3) количество положительных и отрицательных коэффициентов этого полинома одинаково;
- 4) все коэффициенты характеристического полинома строго положительны.

7.2.2 Примерный перечень заданий для решения стандартных задач

1. Чему равна передаточная функция двух звеньев, соединенных последовательно?

1) $W(s) = W_1(s) + W_2(s)$;

2) $W(s) = W_1(s) * W_2(s)$;

3) $W(s) = \frac{W_1(s)}{W_2(s)}$;

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

2. Чему равна передаточная функция двух звеньев, соединенных параллельно?

1) $W(s) = W_1(s) + W_2(s)$;

2) $W(s) = W_1(s) * W_2(s)$;

3) $W(s) = \frac{W_1(s)}{W_2(s)}$;

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

3. Чему равна передаточная функция двух звеньев, соединенных встречно-параллельно?

1) $W(s) = W_1(s) + W_2(s)$

2) $W(s) = W_1(s) * W_2(s)$;

3) $W(s) = \frac{W_1(s)}{W_2(s)}$;

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

4. Какова взаимосвязь импульсной функции $\delta(t)$ и ступенчатой $1(t)$?

1) $\delta(t) = \int 1(t) dt$;

2) $1(t) = \frac{d\delta(t)}{dt}$;

3) $\delta(t) = \frac{d1(t)}{dt}$;

$$4) \bar{s}(t) = \frac{1(t)}{t}$$

5. Если частотная передаточная функция задана в виде $W(j\omega) = U(\omega) + jV(\omega)$, то амплитудная частотная характеристика:

- 1) $A(\omega) = \sqrt{U^2(\omega) + V^2(\omega)}$;
- 2) $A(\omega) = \text{arctg}(V(\omega)/U(\omega))$;
- 3) $A(\omega) = V(\omega) + U(\omega)$;
- 4) $A(\omega) = |V(\omega)| + |U(\omega)|$.

6. Если частотная передаточная функция задана в виде $W(j\omega) = U(\omega) + jV(\omega)$, то фазовая частотная характеристика:

- 1) $\varphi(\omega) = \sqrt{U^2(\omega) + V^2(\omega)}$;
- 2) $\varphi(\omega) = \text{arctg}(V(\omega)/U(\omega))$;
- 3) $\varphi(\omega) = V(\omega) + U(\omega)$;
- 4) $\varphi(\omega) = |V(\omega)| + |U(\omega)|$.

7. Укажите верное тождество:

- 1) $A(\omega) = 20 \lg L(\omega)$;
- 2) $L(\omega) = 20 \lg A(\omega)$;
- 3) $L(\omega) = 20 \ln A(\omega)$;
- 4) $L(\omega) = \ln A(\omega)$.

8. Дано дифференциальное уравнение звена с постоянными параметрами: $a_0 + a_1 + a_2 y = b_0 x$. Записать уравнение в операторной форме.

- 1) $(a_0 p^2 + a_1 p + a_2) Y(p) = b_0 X(p)$ B) $a_0 Y(p) + a_1 p + a_2 = b_0 X(p)$
- 2) $(a_0 d^2 + a_1 d + a_2) Y(t) = b_0 X(t)$ D) $(a_0 p + a_1 - a_2) Y(p) = b_0 X(p)$ E)
- 3) $(a_0 p + a_1 + a_2) Y(p) = b_0 X(p)$

9. Дано дифференциальное уравнение идеального дифференцирующего звена $a_0 y = b_0 \dot{x}$. Записать данное уравнение в операторной форме.

- 1) $a_0 Y(p) = b_0 p X(p)$ B) $a_0 p = b_0 p^2$
- 2) $a_0 Y(p) = b_0 p^2 X(p)$ D) $a_0 Y(p) = b_0 X(p)$ E) $a_0 Y(t) = b_0 X(t)$

10. Дано дифференциальное уравнение форсирующего звена первого порядка:

- 1) $a_0 y = b_0 + b_1 \dot{x}$. Записать данное уравнение в операторной форме.
- 2) $a_0 Y(p) = (b_0 p + b_1) X(p)$ B) $a_0 Y(t) = (b_0 D + b_1) X(p)$
- 3) $a_0 Y(p) = (b_0 D + b_1) X(p)$ D) $a_0 Y(p) = b_0 X(p) + b_1 X(p)$ E)
 $a_0 Y(p) = (b_0 + b_1) X(p)$

11. Дано дифференциальное уравнение интегрирующего звена $a_1 \dot{y} = b_0 x$. Записать данное уравнение в операторной форме.

- 1) $a_0 p Y(p) = b_0 X(p)$ B) $a_0 Y(p) = b_0 X(p)$
- 2) $a_0 Y(p) = b_0 p X(p)$ D) $a_0 p Y(p) = b_0 p X(p)$ E) $a_0 Y(t) = b_0 X(p)$

7.2.3 Примерный перечень заданий для решения прикладных задач

Задача 1. Вывести формулу передаточной функции по заданному дифференциальному уравнению. Варианты задания приведены в табл. П1-1.

Пример решения для варианта 1

$$30 \frac{d^4}{dt^4} x_{\text{вых}}(t) + 25 \frac{d^2}{dt^2} x_{\text{вых}}(t) - 10 \frac{d}{dt} x_{\text{вых}}(t) + 10 x_{\text{вых}}(t) = 5 \frac{d}{dt} x_{\text{вх}}(t) + x_{\text{вх}}(t).$$

Для решения задачи необходимо в соответствии с правилами операционного исчисления записать заданное дифференциальное уравнение в виде алгебраического уравнения

$$30p^4 X_{\text{вых}}(p) + 25p^2 X_{\text{вых}}(p) - 10p X_{\text{вых}}(p) + 10 X_{\text{вых}}(p) = 5p X_{\text{вх}}(p) + X_{\text{вх}}(p).$$

Вынося за скобки изображения выходного и входного сигналов в левой и правой части полученного уравнения, получим

$$X_{\text{вых}}(p)[30p^4 + 25p^2 - 10p + 10] = X_{\text{вх}}(p)[5p + 1].$$

Передаточная функция - это отношение изображений выходного и входного сигналов. Свернём это выражение по правилу пропорции, получим искомую передаточную функцию:

$$W(p) = \frac{X_{\text{вых}}(p)}{X_{\text{вх}}(p)} = \frac{5p + 1}{30p^4 + 25p^2 - 10p + 10}.$$

Задача 2. Нарисовать фазочастотную характеристику (ФЧХ) для звена по заданному дифференциальному уравнению. Варианты заданий приведены в табл. П1-4.

Пример решения для первого варианта

Заданное дифференциальное уравнение

$$30 \frac{d^2}{dt^2} x_{\text{вых}}(t) + 120 \frac{d}{dt} x_{\text{вых}}(t) = 60 x_{\text{вх}}(t)$$

необходимо привести к стандартному виду, когда коэффициент при выходном сигнале равен 1. Для этого в данном примере нужно правую и левую части заданного уравнения поделить на 120:

$$0,25 \frac{d^2}{dt^2} x_{\text{вых}}(t) + \frac{d}{dt} x_{\text{вых}}(t) = 0,5 x_{\text{вх}}(t).$$

$$W(p) = \frac{0,5}{p(0,25p + 1)}$$

Ему соответствует передаточная функция РИ-звена с параметрами $k=0,5$ и $T=0,25$ сек. График ФЧХ для этого звена приведен на рис. 1

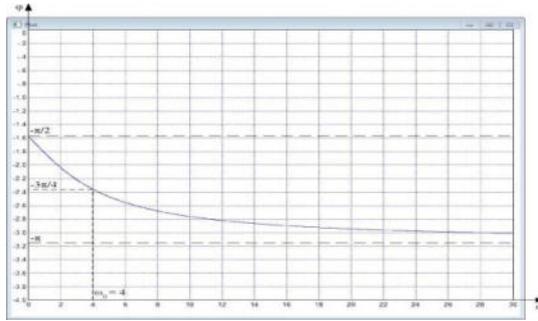


Рис. 1. ФЧХ интегрирующего звена с параметрами $k=0,5$ и $T=0,25$ сек

Задача 3. Нарисовать годограф для звена по заданному дифференциальному уравнению. Варианты заданий приведены в табл. П1-5.

Пример решения для первого варианта

Заданное дифференциальное уравнение

$$15 \frac{d^2}{dt^2} x_{\text{вых}}(t) + 30 \frac{d}{dt} x_{\text{вых}}(t) = 60 x_{\text{вх}}(t)$$

необходимо привести к стандартному виду, когда коэффициент при выходном сигнале равен 1. Для этого в данном примере нужно правую и левую части заданного уравнения поделить на 30:

$$0,5 \frac{d^2}{dt^2} x_{\text{вых}}(t) + \frac{d}{dt} x_{\text{вых}}(t) = 2 x_{\text{вх}}(t).$$

$$W(p) = \frac{2}{p(0,5p + 1)}$$

Ему соответствует передаточная функция РИ-звена с параметрами $k=2$ и $T=0,5$ сек. Годограф для этого звена приведен на рис. 2.

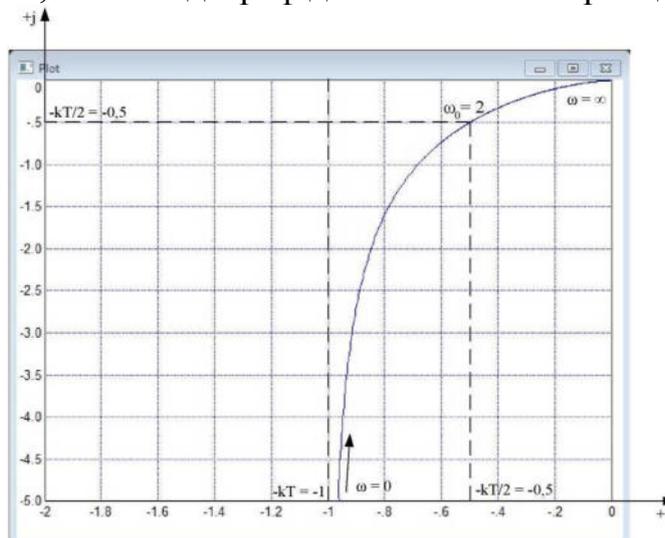


Рис. 2. Годограф интегрирующего звена с параметрами $k=2$ и $T=0,5$ сек

Задача 4. Нарисовать асимптотическую ЛАЧХ для звена по заданному дифференциальному уравнению. Варианты заданий приведены в табл. П1-6.

Пример решения для первого варианта

Заданное дифференциальное уравнение

$$80 \frac{d}{dt} x_{\text{вых}}(t) + 20 x_{\text{вых}}(t) = 40 x_{\text{вх}}(t)$$

необходимо привести к стандартному виду, когда коэффициент при выходном сигнале равен 1. Для этого в данном примере нужно правую и левую части заданного уравнения поделить на 20:

$$4 \frac{d}{dt} x_{\text{вых}}(t) + x_{\text{вых}}(t) = 2 x_{\text{вх}}(t).$$

Ему соответствует передаточная функция $W(p) = \frac{2}{4p+1}$ А-звена с параметрами $k=2$ и $T=4$ сек. Построение асимптотической ЛАЧХ для этого звена приведено на рис. 3.

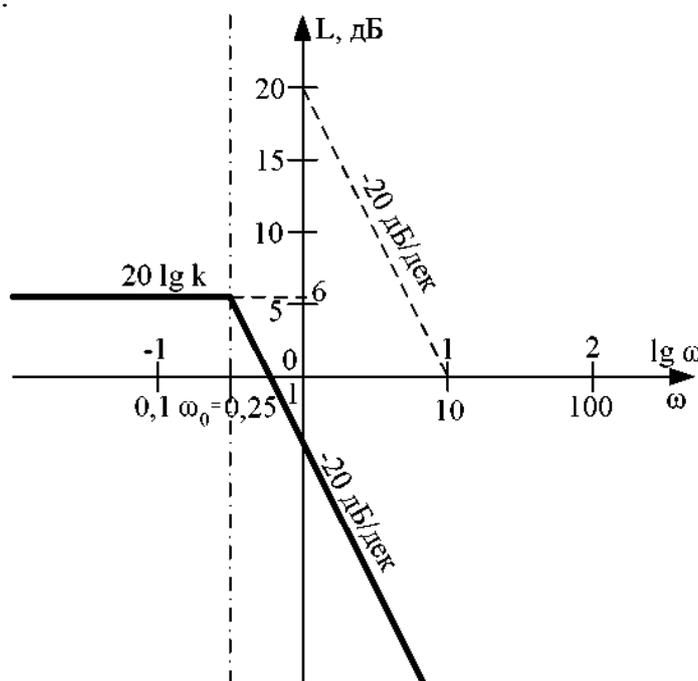


Рис. 3. Асимптотическая ЛАЧХ А-звена с параметрами $k=2$ и $T=4$ сек

Задача 5. Нарисовать переходный процесс для звена заданного типа с заданными параметрами. Варианты заданий приведены в табл. П1-7.

Пример решения для первого варианта

Интегрирующее звено с параметрами $k=10$ и $T=2$ сек описывается пе-

$$W(p) = \frac{10}{p(2p+1)}.$$

редаточной функцией

переходный процесс для этого звена

приведен на рис. 4.

Задача 6. Нарисовать АЧХ для звена заданного типа с заданными параметрами. Варианты заданий приведены в таблице П1-8.

Пример решения для первого варианта

Апериодическое звено с параметрами $k=12$ и $T=20$ сек описывается пе-

редаточной функцией $W(p) = \frac{12}{20p+1}$. График АЧХ для этого звена приведен на рис. 5.

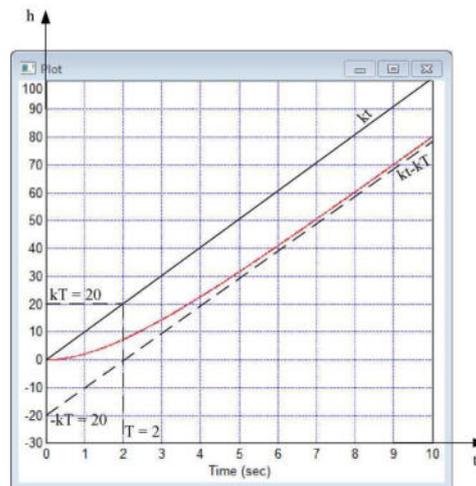


Рис. 4. Переходная функция интегрирующего звена с $k=10$ и $T=2$ сек

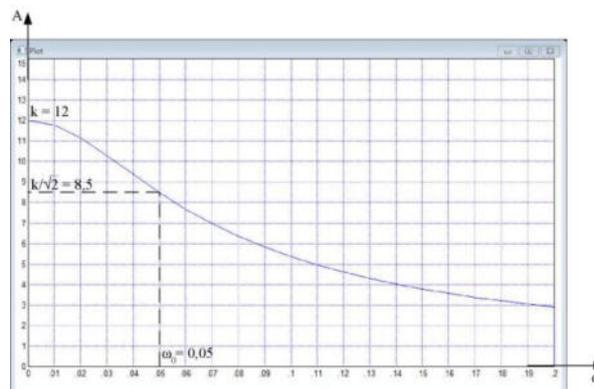


Рис. 5. АЧХ аperiodического звена с параметрами $k=12$ и $T=20$ сек

Задача 7. Нарисовать ФЧХ для звена заданного типа с заданными параметрами. Варианты заданий приведены в табл. П1-9.

Пример решения для первого варианта

Дифференцирующее звено с параметрами $k=15$ и $T=0,1$ описывается

передаточной функцией $W(p) = \frac{15p}{0,1p+1}$ График ФЧХ для него приведен на рис. 6.

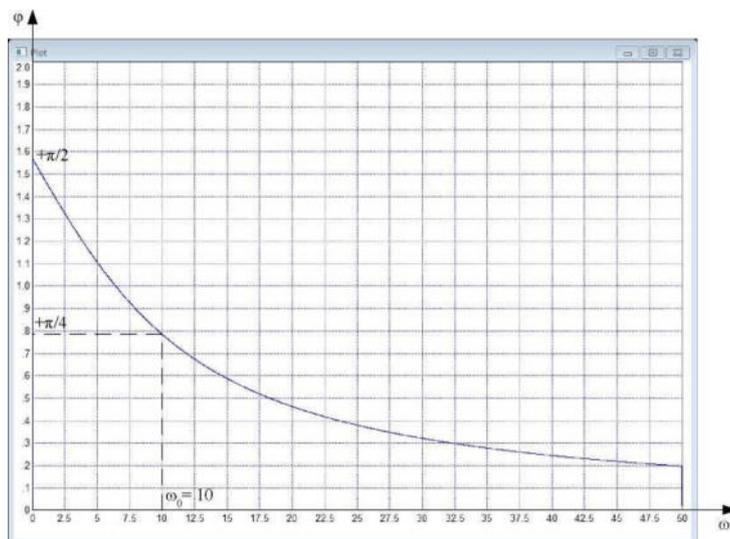


Рис. 6. ФЧХ дифференцирующего звена с параметрами $k=15$ и $T=0,1$ сек

Задача 8. Нарисовать годограф для звена заданного типа с заданными параметрами. Варианты заданий приведены в табл. П1-10.

Пример решения для первого варианта

Апериодическое звено с параметрами $k=25$ и $T=0,1$ сек описывается пе-

редаточной функцией $W(p) = \frac{25}{0,1p+1}$. Годограф для него приведен на рис. 7.

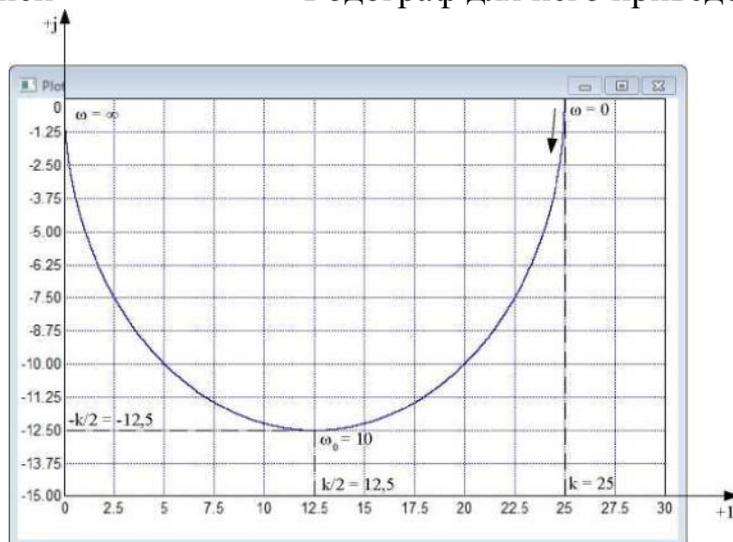


Рис. 7. Годограф аperiодического звена с $k=25$ и $T=0,1$ сек

Задача 9. Нарисовать асимптотическую ЛАЧХ для звена заданного типа с заданными параметрами. Варианты заданий приведены в табл. П1-11.

Пример решения для первого варианта

РИ-звено с параметрами $k=25$ и $T=0,1$ сек описывается передаточной

функцией $W(p) = \frac{25}{p(0,1p+1)}$. Его асимптотическая ЛАЧХ приведена на рис. 8.

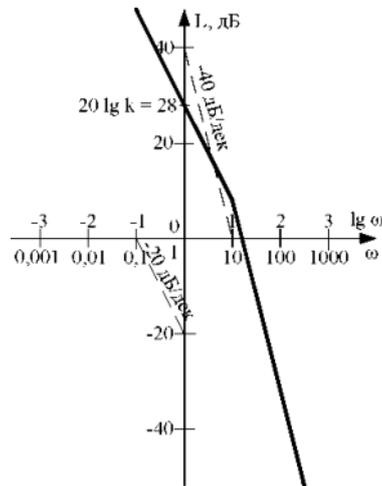


Рис. 8. Асимптотическая ЛАЧХ интегрирующего звена с $k=25$ и $T=0,1$ сек

Задача 10. Нарисовать реакцию П-звена на заданный сигнал. Входной и выходной сигналы должны быть нарисованы в одной координатной плоскости. Варианты входного сигнала представлены на рис. П1-1 (прил. 1). Коэффициент усиления k_p для нечётных вариантов равен 2, для чётных 0,5.

Пример решения

Коэффициент усиления k_p для рассматриваемого примера равен 2. Графики входного и выходного сигнала представлены на рис. 9.

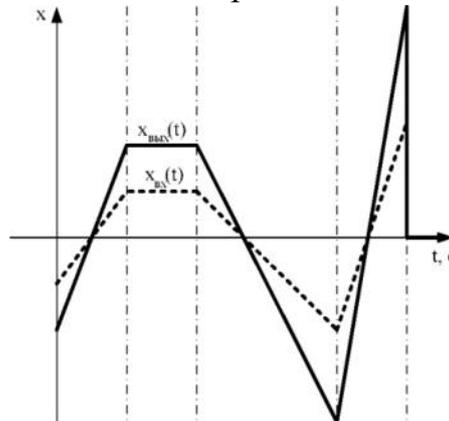


Рис. 9. Реакция П-звена на заданный входной сигнал

Варианты задания 1

№	Дифференциальное уравнение
1	$30 \frac{d^4}{dt^4} x_{\text{облх}}(t) + 25 \frac{d^2}{dt^2} x_{\text{облх}}(t) - 10 \frac{d}{dt} x_{\text{облх}}(t) + 10 x_{\text{облх}}(t) = 5 \frac{d}{dt} x_{\text{ак}}(t) + x_{\text{ак}}(t)$
2	$9 \frac{d^4}{dt^4} x_{\text{облх}}(t) + 6 \frac{d^2}{dt^2} x_{\text{облх}}(t) + 3 \frac{d}{dt} x_{\text{облх}}(t) + 3 x_{\text{облх}}(t) = 9 \frac{d^4}{dt^4} x_{\text{ак}}(t) - 6 \frac{d}{dt} x_{\text{ак}}(t)$
3	$\frac{d^3}{dt^3} x_{\text{облх}}(t) + 7 \frac{d^2}{dt^2} x_{\text{облх}}(t) - 14 \frac{d}{dt} x_{\text{облх}}(t) + 7 x_{\text{облх}}(t) = 7 \frac{d^2}{dt^2} x_{\text{ак}}(t) + 21 \frac{d}{dt} x_{\text{ак}}(t)$
4	$6 \frac{d^3}{dt^3} x_{\text{облх}}(t) + 4 \frac{d^2}{dt^2} x_{\text{облх}}(t) - 10 \frac{d}{dt} x_{\text{облх}}(t) + 4 x_{\text{облх}}(t) = -4 \frac{d^3}{dt^3} x_{\text{ак}}(t) + 4 x_{\text{ак}}(t)$
5	$15 \frac{d^4}{dt^4} x_{\text{облх}}(t) - 9 \frac{d^3}{dt^3} x_{\text{облх}}(t) + 12 \frac{d}{dt} x_{\text{облх}}(t) + 3 x_{\text{облх}}(t) = 6 \frac{d}{dt} x_{\text{ак}}(t)$
6	$4 \frac{d^3}{dt^3} x_{\text{облх}}(t) + 8 \frac{d^2}{dt^2} x_{\text{облх}}(t) - 10 \frac{d}{dt} x_{\text{облх}}(t) = 6 \frac{d^2}{dt^2} x_{\text{ак}}(t) + 12 \frac{d}{dt} x_{\text{ак}}(t)$
7	$22 \frac{d^4}{dt^4} x_{\text{облх}}(t) - 33 \frac{d^3}{dt^3} x_{\text{облх}}(t) + 11 \frac{d^2}{dt^2} x_{\text{облх}}(t) + 22 x_{\text{облх}}(t) = 44 \frac{d^3}{dt^3} x_{\text{ак}}(t) + 11 x_{\text{ак}}(t)$
8	$2 \frac{d^3}{dt^3} x_{\text{облх}}(t) + 6 \frac{d^2}{dt^2} x_{\text{облх}}(t) - 12 \frac{d}{dt} x_{\text{облх}}(t) + 12 x_{\text{облх}}(t) = 2 \frac{d^4}{dt^4} x_{\text{ак}}(t) + 4 x_{\text{ак}}(t)$
9	$20 \frac{d^3}{dt^3} x_{\text{облх}}(t) + 16 \frac{d^2}{dt^2} x_{\text{облх}}(t) - 12 \frac{d}{dt} x_{\text{облх}}(t) + 12 x_{\text{облх}}(t) = -8 \frac{d^3}{dt^3} x_{\text{ак}}(t) + 4 x_{\text{ак}}(t)$
10	$15 \frac{d^4}{dt^4} x_{\text{облх}}(t) - 9 \frac{d^3}{dt^3} x_{\text{облх}}(t) + 12 \frac{d}{dt} x_{\text{облх}}(t) + 3 x_{\text{облх}}(t) = 6 \frac{d}{dt} x_{\text{ак}}(t)$
11	$4 \frac{d^3}{dt^3} x_{\text{облх}}(t) + 8 \frac{d^2}{dt^2} x_{\text{облх}}(t) - 10 \frac{d}{dt} x_{\text{облх}}(t) = 2 \frac{d^4}{dt^4} x_{\text{ак}}(t) + 2 x_{\text{ак}}(t)$
12	$12 \frac{d^4}{dt^4} x_{\text{облх}}(t) + 6 \frac{d^2}{dt^2} x_{\text{облх}}(t) + 3 \frac{d}{dt} x_{\text{облх}}(t) + 3 x_{\text{облх}}(t) = 9 \frac{d^4}{dt^4} x_{\text{ак}}(t) - 6 \frac{d}{dt} x_{\text{ак}}(t)$
13	$\frac{d^3}{dt^3} x_{\text{облх}}(t) + 7 \frac{d^2}{dt^2} x_{\text{облх}}(t) - 14 \frac{d}{dt} x_{\text{облх}}(t) + 7 x_{\text{облх}}(t) = 21 \frac{d}{dt} x_{\text{ак}}(t) + 14 x_{\text{ак}}(t)$
14	$6 \frac{d^3}{dt^3} x_{\text{облх}}(t) + 4 \frac{d^2}{dt^2} x_{\text{облх}}(t) - 10 \frac{d}{dt} x_{\text{облх}}(t) + 4 x_{\text{облх}}(t) = 2 \frac{d^4}{dt^4} x_{\text{ак}}(t) + 10 \frac{d^2}{dt^2} x_{\text{ак}}(t)$
15	$30 \frac{d^4}{dt^4} x_{\text{облх}}(t) + 15 \frac{d^3}{dt^3} x_{\text{облх}}(t) + 25 \frac{d^2}{dt^2} x_{\text{облх}}(t) - 10 \frac{d}{dt} x_{\text{облх}}(t) + 10 x_{\text{облх}}(t) = x_{\text{ак}}(t)$
16	$3 \frac{d^4}{dt^4} x_{\text{облх}}(t) + 6 \frac{d^3}{dt^3} x_{\text{облх}}(t) + 3 \frac{d^2}{dt^2} x_{\text{облх}}(t) - 9 \frac{d}{dt} x_{\text{облх}}(t) + 12 x_{\text{облх}}(t) = 3 \frac{d}{dt} x_{\text{ак}}(t)$
17	$12 \frac{d^3}{dt^3} x_{\text{облх}}(t) + 6 \frac{d^2}{dt^2} x_{\text{облх}}(t) + 3 \frac{d}{dt} x_{\text{облх}}(t) + 9 x_{\text{облх}}(t) = 9 \frac{d^2}{dt^2} x_{\text{ак}}(t) - 3 x_{\text{ак}}(t)$
18	$-33 \frac{d^3}{dt^3} x_{\text{облх}}(t) + 22 \frac{d^2}{dt^2} x_{\text{облх}}(t) + 11 \frac{d}{dt} x_{\text{облх}}(t) = 22 \frac{d}{dt} x_{\text{ак}}(t) + 11 x_{\text{ак}}(t)$
19	$3 \frac{d^4}{dt^4} x_{\text{облх}}(t) + 9 \frac{d^3}{dt^3} x_{\text{облх}}(t) + 3 \frac{d^2}{dt^2} x_{\text{облх}}(t) = 6 \frac{d^2}{dt^2} x_{\text{ак}}(t) - 9 x_{\text{ак}}(t)$

Таблица П1-4.

№	Уравнение
1	$30 \frac{d^2}{dt^2} x_{\text{облх}}(t) + 120 \frac{d}{dt} x_{\text{облх}}(t) = 60x_{\text{ав}}(t)$
2	$480 \frac{d^2}{dt^2} x_{\text{облх}}(t) + 120 \frac{d}{dt} x_{\text{облх}}(t) = 600x_{\text{ав}}(t)$
3	$20 \frac{d^2}{dt^2} x_{\text{облх}}(t) + 40 \frac{d}{dt} x_{\text{облх}}(t) = 60x_{\text{ав}}(t)$
4	$25 \frac{d^2}{dt^2} x_{\text{облх}}(t) + 50 \frac{d}{dt} x_{\text{облх}}(t) = 100x_{\text{ав}}(t)$
5	$50 \frac{d^2}{dt^2} x_{\text{облх}}(t) + 100 \frac{d}{dt} x_{\text{облх}}(t) = 50x_{\text{ав}}(t)$
6	$60 \frac{d}{dt} x_{\text{облх}}(t) + 30x_{\text{облх}}(t) = 90 \frac{d}{dt} x_{\text{ав}}(t)$
7	$10 \frac{d}{dt} x_{\text{облх}}(t) + 100x_{\text{облх}}(t) = 1000 \frac{d}{dt} x_{\text{ав}}(t)$
8	$100 \frac{d}{dt} x_{\text{облх}}(t) + 10x_{\text{облх}}(t) = 100 \frac{d}{dt} x_{\text{ав}}(t)$
9	$20 \frac{d}{dt} x_{\text{облх}}(t) + 40x_{\text{облх}}(t) = 80 \frac{d}{dt} x_{\text{ав}}(t)$
10	$80 \frac{d}{dt} x_{\text{облх}}(t) + 20x_{\text{облх}}(t) = 40 \frac{d}{dt} x_{\text{ав}}(t)$
11	$20 \frac{d}{dt} x_{\text{облх}}(t) + 80x_{\text{облх}}(t) = 60x_{\text{ав}}(t)$
12	$20 \frac{d}{dt} x_{\text{облх}}(t) + 10x_{\text{облх}}(t) = 60x_{\text{ав}}(t)$
13	$15 \frac{d}{dt} x_{\text{облх}}(t) + 30x_{\text{облх}}(t) = 60x_{\text{ав}}(t)$
14	$40 \frac{d}{dt} x_{\text{облх}}(t) + 20x_{\text{облх}}(t) = 80x_{\text{ав}}(t)$
15	$45 \frac{d}{dt} x_{\text{облх}}(t) + 90x_{\text{облх}}(t) = 180x_{\text{ав}}(t)$
16	$60 \frac{d^2}{dt^2} x_{\text{облх}}(t) + 30 \frac{d}{dt} x_{\text{облх}}(t) = 90x_{\text{ав}}(t)$
17	$10 \frac{d^2}{dt^2} x_{\text{облх}}(t) + 100 \frac{d}{dt} x_{\text{облх}}(t) = 1000x_{\text{ав}}(t)$
18	$100 \frac{d^2}{dt^2} x_{\text{облх}}(t) + 10 \frac{d}{dt} x_{\text{облх}}(t) = 100x_{\text{ав}}(t)$
19	$20 \frac{d^2}{dt^2} x_{\text{облх}}(t) + 40 \frac{d}{dt} x_{\text{облх}}(t) = 80x_{\text{ав}}(t)$
20	$80 \frac{d^2}{dt^2} x_{\text{облх}}(t) + 20 \frac{d}{dt} x_{\text{облх}}(t) = 40x_{\text{ав}}(t)$

Таблица П1-5.

№	Уравнение
1	$15 \frac{d^2}{dt^2} x_{\text{облх}}(t) + 30 \frac{d}{dt} x_{\text{облх}}(t) = 60x_{\text{ав}}(t)$
2	$40 \frac{d}{dt} x_{\text{облх}}(t) + 20x_{\text{облх}}(t) = 80x_{\text{ав}}(t)$
3	$45 \frac{d}{dt} x_{\text{облх}}(t) + 90x_{\text{облх}}(t) = 180x_{\text{ав}}(t)$
4	$360 \frac{d}{dt} x_{\text{облх}}(t) + 120x_{\text{облх}}(t) = 600x_{\text{ав}}(t)$
5	$30 \frac{d}{dt} x_{\text{облх}}(t) + 120x_{\text{облх}}(t) = 60x_{\text{ав}}(t)$
6	$20 \frac{d^2}{dt^2} x_{\text{облх}}(t) + 40 \frac{d}{dt} x_{\text{облх}}(t) = 60x_{\text{ав}}(t)$
7	$25 \frac{d^2}{dt^2} x_{\text{облх}}(t) + 50 \frac{d}{dt} x_{\text{облх}}(t) = 100x_{\text{ав}}(t)$
8	$50 \frac{d^2}{dt^2} x_{\text{облх}}(t) + 100 \frac{d}{dt} x_{\text{облх}}(t) = 50x_{\text{ав}}(t)$
9	$60 \frac{d^2}{dt^2} x_{\text{облх}}(t) + 30 \frac{d}{dt} x_{\text{облх}}(t) = 90x_{\text{ав}}(t)$
10	$10 \frac{d^2}{dt^2} x_{\text{облх}}(t) + 100 \frac{d}{dt} x_{\text{облх}}(t) = 1000x_{\text{ав}}(t)$
11	$100 \frac{d}{dt} x_{\text{облх}}(t) + 10x_{\text{облх}}(t) = 100 \frac{d}{dt} x_{\text{ав}}(t)$
12	$20 \frac{d}{dt} x_{\text{облх}}(t) + 40x_{\text{облх}}(t) = 80 \frac{d}{dt} x_{\text{ав}}(t)$
13	$80 \frac{d}{dt} x_{\text{облх}}(t) + 20x_{\text{облх}}(t) = 40 \frac{d}{dt} x_{\text{ав}}(t)$
14	$20 \frac{d}{dt} x_{\text{облх}}(t) + 80x_{\text{облх}}(t) = 60 \frac{d}{dt} x_{\text{ав}}(t)$
15	$20 \frac{d}{dt} x_{\text{облх}}(t) + 10x_{\text{облх}}(t) = 60 \frac{d}{dt} x_{\text{ав}}(t)$
16	$20 \frac{d}{dt} x_{\text{облх}}(t) + 40x_{\text{облх}}(t) = 60x_{\text{ав}}(t)$
17	$25 \frac{d}{dt} x_{\text{облх}}(t) + 50x_{\text{облх}}(t) = 100x_{\text{ав}}(t)$
18	$50 \frac{d}{dt} x_{\text{облх}}(t) + 100x_{\text{облх}}(t) = 50x_{\text{ав}}(t)$
19	$60 \frac{d}{dt} x_{\text{облх}}(t) + 30x_{\text{облх}}(t) = 90x_{\text{ав}}(t)$
20	$10 \frac{d}{dt} x_{\text{облх}}(t) + 100x_{\text{облх}}(t) = 1000x_{\text{ав}}(t)$

Таблица П1-6.

Вариант	Уравнение
1	$80 \frac{d}{dt} x_{\text{облх}}(t) + 20x_{\text{облх}}(t) = 40x_{\text{ав}}(t)$
2	$10 \frac{d}{dt} x_{\text{облх}}(t) + 10x_{\text{облх}}(t) = 100 \frac{d}{dt} x_{\text{ав}}(t)$
3	$\frac{d^2}{dt^2} x_{\text{облх}}(t) + 100 \frac{d}{dt} x_{\text{облх}}(t) = 100x_{\text{ав}}(t)$
4	$10 \frac{d}{dt} x_{\text{облх}}(t) + 10x_{\text{облх}}(t) = 1000 \frac{d}{dt} x_{\text{ав}}(t)$
5	$100 \frac{d}{dt} x_{\text{облх}}(t) + 10x_{\text{облх}}(t) = 1000x_{\text{ав}}(t)$
6	$100 \frac{d}{dt} x_{\text{облх}}(t) + 10x_{\text{облх}}(t) = 10 \frac{d}{dt} x_{\text{ав}}(t)$
7	$\frac{d^2}{dt^2} x_{\text{облх}}(t) + 10 \frac{d}{dt} x_{\text{облх}}(t) = 100x_{\text{ав}}(t)$
8	$100 \frac{d}{dt} x_{\text{облх}}(t) + 100x_{\text{облх}}(t) = 1000x_{\text{ав}}(t)$
9	$100 \frac{d}{dt} x_{\text{облх}}(t) + 10x_{\text{облх}}(t) = 100 \frac{d}{dt} x_{\text{ав}}(t)$
10	$\frac{d^2}{dt^2} x_{\text{облх}}(t) + 100 \frac{d}{dt} x_{\text{облх}}(t) = 1000x_{\text{ав}}(t)$
11	$100 \frac{d}{dt} x_{\text{облх}}(t) + 10x_{\text{облх}}(t) = 100x_{\text{ав}}(t)$
12	$100 \frac{d}{dt} x_{\text{облх}}(t) + 10x_{\text{облх}}(t) = 0,1 \frac{d}{dt} x_{\text{ав}}(t)$
13	$100 \frac{d^2}{dt^2} x_{\text{облх}}(t) + 10 \frac{d}{dt} x_{\text{облх}}(t) = 100x_{\text{ав}}(t)$
14	$\frac{d}{dt} x_{\text{облх}}(t) + 10x_{\text{облх}}(t) = 10x_{\text{ав}}(t)$
15	$100 \frac{d}{dt} x_{\text{облх}}(t) + 10x_{\text{облх}}(t) = 0,01 \frac{d}{dt} x_{\text{ав}}(t)$
16	$\frac{d}{dt} x_{\text{облх}}(t) + 100x_{\text{облх}}(t) = 100x_{\text{ав}}(t)$
17	$100 \frac{d^2}{dt^2} x_{\text{облх}}(t) + \frac{d}{dt} x_{\text{облх}}(t) = 0,01x_{\text{ав}}(t)$
18	$100 \frac{d}{dt} x_{\text{облх}}(t) + 100x_{\text{облх}}(t) = 0,1 \frac{d}{dt} x_{\text{ав}}(t)$
19	$10 \frac{d}{dt} x_{\text{облх}}(t) + 100x_{\text{облх}}(t) = 0,01x_{\text{ав}}(t)$
20	$0,1 \frac{d}{dt} x_{\text{облх}}(t) + 0,01x_{\text{облх}}(t) = 100 \frac{d}{dt} x_{\text{ав}}(t)$

Таблица П1-7.

№	Тип звена	k	T, сек
1	И	10	2
2	Д	15	5
3	А	20	10
4	И	12	6
5	Д	25	50
6	А	10	2
7	И	15	5
8	Д	20	10
9	А	12	6
10	И	25	50
11	Д	10	2
12	А	15	5
13	И	20	10
14	Д	12	6
15	А	25	0,5
16	И	25	0,5
17	Д	10	0,2
18	А	15	0,5
19	И	20	100
20	Д	12	0,6

Таблица П1-8.

№	Тип звена	k	T, сек
1	А	12	10
2	И	25	100
3	Д	10	0,1
4	А	15	0,01
5	И	20	10
6	Д	12	100
7	А	25	0,1
8	И	10	0,01
9	Д	15	10
10	А	20	100
11	И	12	0,1
12	Д	25	0,01
13	А	10	10
14	И	15	100
15	Д	20	0,1
16	А	25	100
17	И	10	0,1
18	Д	15	0,01
19	А	20	10
20	И	12	100

Таблица П1-9.

№	Тип звена	k	T, сек
1	Д	15	0,1
2	А	20	0,01
3	И	12	10
4	Д	25	100
5	А	10	0,1
6	И	15	0,01
7	Д	20	10
8	А	12	100
9	И	25	0,1
10	Д	10	0,01
11	А	15	10
12	И	20	100
13	Д	12	0,1
14	А	25	0,01
15	И	10	10
16	Д	15	100
17	А	20	0,1
18	И	12	0,01
19	Д	25	10
20	А	10	100

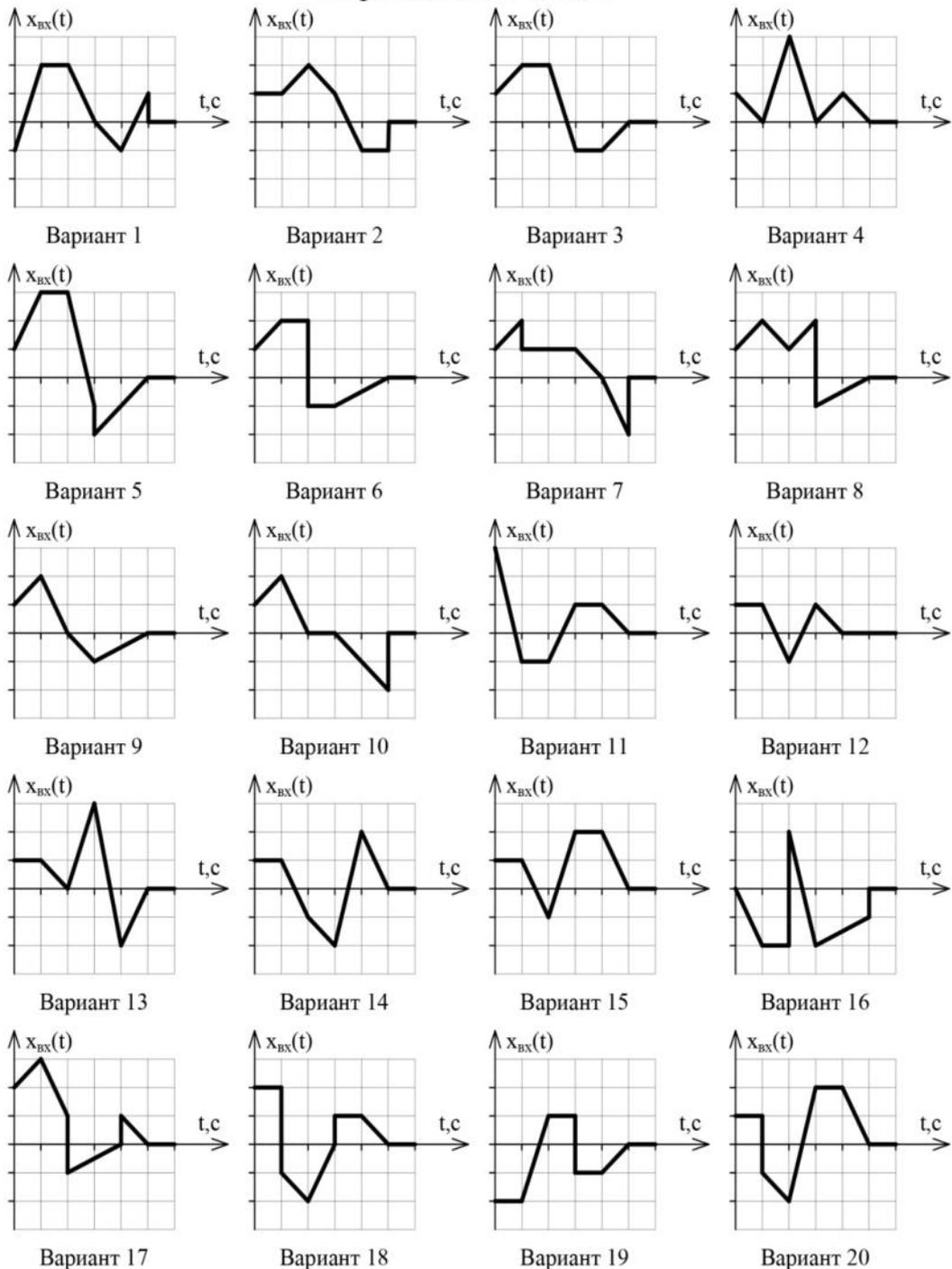
Таблица П1-10.

№	Тип звена	k	T, сек
1	А	25	0,1
2	И	10	2
3	Д	15	5
4	А	20	10
5	И	12	6
6	Д	25	50
7	А	10	2
8	И	15	5
9	Д	20	10
10	А	12	6
11	И	25	50
12	Д	10	2
13	А	15	5
14	И	20	10
15	Д	12	6
16	А	25	0,5
17	И	10	0,2
18	Д	15	0,5
19	А	20	1
20	И	12	0,1

Таблица П1-11.

№	Тип звена	k	T, сек
1	И	20	0,1
2	Д	1	0,01
3	А	10	10
4	И	100	100
5	Д	1000	0,1
6	А	0,1	0,01
7	И	0,01	10
8	Д	0,001	100
9	А	1	0,1
10	И	10	0,01
11	Д	100	10
12	А	1000	100
13	И	0,1	0,1
14	Д	0,01	0,01
15	А	0,001	10
16	И	1	100
17	Д	10	0,1
18	А	100	0,01
19	И	1000	10
20	Д	0,1	100

Варианты для части 1



7.2.4 Примерный перечень вопросов для подготовки к зачету

1. Понятие системы. Классификация систем. Понятие системы автоматического управления (САУ).
2. Классификация систем автоматического управления.
3. Основные понятия и принципы построения САУ.
4. Характеристика объектов управления и сигналов, действующих в САУ.
5. Фундаментальные принципы управления: разомкнутое управление,

- управление по возмущению, по отклонению, комбинированное управление.
6. Основные виды автоматического управления: стабилизация, следящее, программное, оптимальное и адаптивное.
 7. Классификация САУ по принципам и видам управления, типу сигналов и характеристикам параметров системы.
 8. Математическое описание непрерывных САУ.
 9. Установившиеся и переходные процессы в САУ. Уравнения статики и динамики.
 10. Типовые позиционные динамические звенья, их характеристики.
 11. Типовые интегрирующие динамические звенья, их характеристики.
 12. Типовые дифференцирующие динамические звенья, их характеристики.
 13. Методы линеаризации характеристик и дифференциальных уравнений САУ.
 14. Векторно-матричные уравнения системы в пространстве состояний.
 15. Применение операторного метода для решения уравнений САУ.
 16. Понятие передаточной функции. Связь передаточной функции с весовой и переходной характеристиками.
 17. Передаточные функции САУ. Нули и полюса передаточной функции.
 18. Характеристический полином и характеристическое уравнение системы.
 19. Передаточные функции замкнутых систем по управляющему воздействию.
 20. Передаточные функции замкнутых систем по возмущающему воздействию.
 21. Передаточная функция по ошибке. Коэффициенты ошибок.
 22. Устойчивость линейных САУ. Алгебраические и частотные критерии устойчивости.
 23. Критерий Рауса. Определение границ устойчивости.
 24. Критерий Гурвица. Определение границы колебательной и апериодической устойчивости.
 25. Частотный критерий Найквиста. Определение запасов устойчивости.
 26. Частотный критерий Михайлова. Определение устойчивости и границ колебательной устойчивости.
 27. Запас по амплитуде и фазе в устойчивых системах.
 28. Определение устойчивости по логарифмическим амплитудно-фазовым частотным характеристикам разомкнутой системы.
 29. Определение областей устойчивости. Д-разбиение.
 30. Ошибка в САУ по амплитуде и частоте. Полоса пропускания, частота среза, запасы устойчивости по фазе и амплитуде (модулю).
Статические и астатические системы автоматического управления.

7.2.5 Примерный перечень заданий для подготовки к экзамену

1. Статические и астатические системы автоматического управления.
2. Анализ качества в линейных САУ. Оценка качества в установившихся и переходных процессах.
3. Корневые методы оценки качества процессов в САУ.
4. Оценка качества управления при гармоническом воздействии. Запас по фазе и амплитуде.
5. Интегральные оценки качества САУ.
6. Частотные оценки качества САУ.
7. Динамические и статические ошибки в САУ.
8. Повышение качества и синтез линейных САУ.
9. Коррекция систем. Постановка задачи коррекции САУ.
10. Последовательные корректирующие устройства.
11. Параллельные корректирующие устройства.
12. Использование обратных связей для повышения качества процесса управления САУ.
13. Понятие желаемой ЛАЧХ, методика ее построения.
14. Синтез корректирующих устройств по ЛАЧХ.
15. Теория инвариантных систем.
16. Методы создания инвариантных по возмущающему воздействию систем.
17. Дискретные САУ, их классификация и принципы функционирования.
18. Импульсные САУ, их характеристики.
19. Передаточная функция импульсной САУ.
20. Использование Z – преобразования для анализа импульсных САУ.
21. Устойчивость и качество импульсных систем.
22. Нелинейные САУ, их особенности и принципы функционирования.
23. Особенности математического описания нелинейных САУ.
24. Анализ нелинейных САУ с помощью метода фазовых траекторий.
25. Метод гармонической линеаризации нелинейных САУ.
26. Устойчивость нелинейных САУ.
27. Релейные САУ, их характеристики и принципы функционирования.
28. Понятие особых САУ. Системы с переменными параметрами.
29. Системы с запаздыванием и распределенными параметрами.
30. Особенности динамики нелинейных систем. Релейные системы. Устойчивость.
31. Системы оптимального управления: принципы построения, методы анализа и синтеза. Критерии оптимальности.

7.2.6. Методика выставления оценки при проведении промежуточной аттестации

Экзамен проводится по тест-билетам, каждый из которых содержит 10 вопросов и задачу. Каждый правильный ответ на вопрос в тесте оценивается 1 баллом, задача оценивается в 10 баллов (5 баллов верное решение и 5 бал-

лов за верный ответ). Максимальное количество набранных баллов – 20.

1. Оценка «Неудовлетворительно» ставится в случае, если студент набрал менее 6 баллов.

2. Оценка «Удовлетворительно» ставится в случае, если студент набрал от 6 до 10 баллов

3. Оценка «Хорошо» ставится в случае, если студент набрал от 11 до 15 баллов.

4. Оценка «Отлично» ставится, если студент набрал от 16 до 20 баллов.

7.2.7 Паспорт оценочных материалов

№ п/п	Контролируемые разделы (темы) дисциплины	Код контролируемой компетенции	Наименование оценочного средства
1	Основные понятия и определения теории автоматического управления	ПК-1	Устный опрос, Тест
2	Математическое описание систем автоматического управления	ПК-1	Тест, контрольная работа, защита лабораторных работ, выполнение практических заданий
3	Устойчивость линейных САУ	ПК-1	Тест, контрольная работа, защита лабораторных работ, выполнение практических заданий
4	Анализ качества процессов регулирования САУ	ПК-1	Тест, защита лабораторных работ, выполнение практических заданий
5	Синтез корректирующих устройств и улучшение качества процессов регулирования	ПК-1	Тест, контрольная работа, защита лабораторной работы, выполнение практических заданий
6	Инвариантные, нелинейные, дискретные и оптимальные САУ	ПК-1	Устный опрос, Тест

7.3. Методические материалы, определяющие процедуры оценивания знаний, умений, навыков и (или) опыта деятельности

Тестирование осуществляется, либо при помощи компьютерной системы тестирования, либо с использованием выданных тест-заданий на бумажном носителе. Время тестирования 30 мин. Затем осуществляется проверка теста экзаменатором и выставляется оценка согласно методике выставления оценки при проведении промежуточной аттестации.

Решение стандартных задач осуществляется, либо при помощи компьютерной системы тестирования, либо с использованием выданных задач на бумажном носителе. Время решения задач 30 мин. Затем осуществляется проверка решения задач экзаменатором и выставляется оценка, согласно методике выставления оценки при проведении промежуточной аттестации.

Решение прикладных задач осуществляется, либо при помощи компьютерной системы тестирования, либо с использованием выданных задач на

бумажном носителе. Время решения задач 30 мин. Затем осуществляется проверка решения задач экзаменатором и выставляется оценка, согласно методике выставления оценки при проведении промежуточной аттестации.

Защита курсовой работы, курсового проекта или отчета по всем видам практик осуществляется согласно требованиям, предъявляемым к работе, описанным в методических материалах. Примерное время защиты на одного студента составляет 20 мин.

8 УЧЕБНО - МЕТОДИЧЕСКОЕ И ИНФОРМАЦИОННОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ

8.1 Перечень учебной литературы, необходимой для освоения дисциплины

1. Винокуров С.А. Теория автоматического управления: лабораторный практикум: учеб. пособие / С.А. Винокуров, В.Е. Букатова. — Воронеж: ГОУ ВПО «ВГТУ», 2007. — 132 с.

2. Теория автоматического управления: методы исследования автоматических систем в среде MATLAB : Учеб. пособие. - Воронеж : ФГБОУ ВПО "Воронежский государственный технический университет", 2012. - 201 с. - 202-41; 250 экз.

3. Теория автоматического управления: Синтез САУ в среде Matlab [Электронный ресурс] : учебное пособие / ФГБОУ ВО "Воронеж. гос. техн. ун-т", каф. электропривода, автоматики и управления в технических системах. - Воронеж : Воронежский государственный технический университет, 2017. - 82 с. : табл. : ил. - Библиогр.: 8 назв.

4. Теория автоматического управления. Лабораторный практикум в среде Matlab [Текст] : учебное пособие / ФГБОУ ВО "Воронеж. гос. техн. ун-т". - Воронеж : Воронежский государственный технический университет, 2018. - 106 с. : табл. : ил. - Библиогр.: с. 104 (5 назв.). - ISBN 978-5-7731-0631-9 : 33-84.

5. Волков В.Д. Теория автоматического управления [Электронный ресурс] : Учеб. пособие. Ч.1. - Электрон. текстовые, граф. дан. (24,2 Мб). - Воронеж : ФГБОУ ВПО "Воронежский государственный технический университет", 2014. - 1 файл. - 30-00.

6. Петраков, Ю.В. Теория автоматического управления технологическими системами : Учеб. пособие. - Старый Оскол : ТНТ, 2015. - 352 с. - ISBN 978-5-94178-383-0 : 605-00.

7. Гайдук, А. Р. Теория автоматического управления в примерах и задачах с решениями в MATLAB [Текст] : учебное пособие : допущено Учебно-методическим объединением. - 4-е изд., стереотип. - Санкт-Петербург ; Москва ; Краснодар : Лань, 2017 (Москва : Т 8 Издательские технологии, 2016). - 463 с. : ил. - Библиогр.: с. 459 (18 назв.). - ISBN 978-5-8114-1255-6 : 1452-00.

8. Коновалов, Б. И. Теория автоматического управления [Текст] : учебное пособие : рекомендовано УМО. - 4-е изд., стереотип. - Санкт-

Петербург ; Москва ; Краснодар : Лань, 2016 (Москва : ПАО "Т 8 Издательские Технологии", 2015). - 219 с. : ил. - Библиогр.: с. 217 (17 назв.). - ISBN 978-5-8114-1034-7 : 715-11.

9. Харченко, А. П. Теория автоматического управления [Электронный ресурс] : лабораторный практикум : учебное пособие / Воронеж. гос. техн. ун-т, каф. электропривода, автоматики и управления в технических системах. - Воронеж : Воронежский государственный технический университет, 2017. - 84 с. - Библиогр.: с. 83 (3 назв.).

10. Музылева, И. В. Теория автоматического управления. Линейные системы : Методические указания к практическим занятиям / Музылева И. В. - Липецк : Липецкий государственный технический университет, ЭБС АСВ, 2013. - 84 с. - ISBN 978-5-88247-613-6. URL: <http://www.iprbookshop.ru/22938.html>

11. Федосенков, Б.А. Теория автоматического управления [Электронный ресурс] : учебное пособие / Б.А. Федосенков. - Кемерово : Кемеровский технологический институт пищевой промышленности, 2014. - 153 с. - ISBN 978-5-89289-863-8. URL: <http://www.iprbookshop.ru/61292.html>

12. Лубенцов, В.Ф. Теория автоматического управления. Курсовое проектирование [Электронный ресурс] : учебное пособие / Е.В. Лубенцова; В.Ф. Лубенцов. - Ставрополь : Северо-Кавказский федеральный университет, 2013. - 102 с. URL: <http://www.iprbookshop.ru/63226.html>

13. Лубенцова, Е.В. Теория автоматического управления [Электронный ресурс] : практикум / В.Ф. Лубенцов; Е.В. Лубенцова. - Ставрополь : Северо-Кавказский федеральный университет, 2013. - 143 с. URL: <http://www.iprbookshop.ru/63227.html>

14. Ким, Д. П. Теория автоматического управления : учебное пособие / Д.П. Ким. - Москва : Физматлит, 2007. - 312 с. - ISBN 5-9221-0379-2. URL: <http://biblioclub.ru/index.php?page=book&id=69278>

15. Ким, Д. П. Теория автоматического управления : учебное пособие / Д.П. Ким. - 2-е изд., испр. и доп. - Москва : Физматлит, 2007. - 440 с. - ISBN 978-5-9221-0858-4.

URL: <http://biblioclub.ru/index.php?page=book&id=69280>

16. Барметов, Ю. П. Теория автоматического управления. Лабораторный практикум : учебное пособие / Ю.П. Барметов; Е.А. Балашова; В.К. Битюков. - Воронеж : Воронежский государственный университет инженерных технологий, 2017. - 207 с. - ISBN 978-5-00032-293-2. URL: <http://biblioclub.ru/index.php?page=book&id=482038>

8.2 Перечень информационных технологий, используемых при осуществлении образовательного процесса по дисциплине, включая перечень лицензионного программного обеспечения, ресурсов информационно-телекоммуникационной сети «Интернет», современных профессиональных баз данных и информационных справочных систем:

Лицензионное программное обеспечение

1. LibreOffice;

2. Apache OpenOffice 4.1.11;
3. Windows Professional 8.1 (7 и 8) Single Upgrade MVL A Each Academic;
4. ABBYY FineReader 9.0;
5. FEMM 4.2;
6. SciLab;
7. MATLAB Classroom;
8. Simulink Classroom.

Отечественное ПО

1. «Программная система для обнаружения текстовых заимствований в учебных и научных работах «Антиплагиат. ВУЗ»».
2. Модуль «Программный комплекс поиска текстовых заимствований в открытых источниках сети интернет «Антиплагиатинтернет»».
3. Модуль обеспечения поиска текстовых заимствований по коллекции диссертаций и авторефератов Российской государственной библиотеки (РГБ).
4. Модуль поиска текстовых заимствований по коллекции научной электронной библиотеки eLIBRARY.RU.

Ресурс информационно-телекоммуникационной сети «Интернет»

<http://www.edu.ru/>
Образовательный портал ВГТУ

Информационная справочная система

1. <http://window.edu.ru>
2. <https://wiki.cchgeu.ru/>

Современные профессиональные базы данных

1. Электротехника. Сайт об электротехнике
Адрес ресурса: <https://electrono.ru>
2. Электротехнический портал
<http://электротехнический-портал.рф/>
3. Силовая электроника для любителей и профессионалов
<http://www.multikonelectronics.com/>
4. Netelectro
Новости электротехники, оборудование и средства автоматизации. Информация о компаниях и выставках, статьи, объявления
Адрес ресурса: <https://netelectro.ru/>
5. Marketelectro
Отраслевой электротехнический портал. Представлены новости отрасли и компаний, объявления, статьи, информация о мероприятиях, фотогалереи

рея, видеоматериалы, нормативы и стандарты, библиотека, электромаркетинг.

Адрес ресурса: <https://marketelectro.ru/>

6. Электромеханика

Адрес ресурса: <https://www.electromechanics.ru/>

7. Electrical 4U

Разделы сайта: «Машины постоянного тока», «Трансформаторы», «Электротехника», «Справочник»

Адрес ресурса: <https://www.electrical4u.com/>

8. All about circuits

Одно из самых крупных онлайн-сообществ в области электротехники. На сайте размещены статьи, форум, учебные материалы (учебные пособия, видеолекции, разработки, вебинары) и другая информация

Адрес ресурса: <https://www.allaboutcircuits.com>

9. Библиотека ООО «Электропоставка»

Адрес ресурса: <https://elektropostavka.ru/library>

10. Электрик

Адрес ресурса: <http://www.electrik.org/>

11. Чертижи.ru

Адрес ресурса: <https://chertezhi.ru/>

12. Электроспец

Адрес ресурса: <http://www.elektropspets.ru/index.php>

13. Библиотека

Адрес ресурса: WWER <http://lib.wwer.ru>

9 МАТЕРИАЛЬНО-ТЕХНИЧЕСКАЯ БАЗА, НЕОБХОДИМАЯ ДЛЯ ОСУЩЕСТВЛЕНИЯ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОГО ПРОЦЕССА

Специализированная лекционная аудитория, оснащенная оборудованием для лекционных демонстраций и проекционной аппаратурой.

Дисплейный класс, оснащенный компьютерными программами для проведения лабораторного практикума.

10. МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ ДЛЯ ОБУЧАЮЩИХСЯ ПО ОСВОЕНИЮ ДИСЦИПЛИНЫ (МОДУЛЯ)

Основой изучения дисциплины являются лекции, на которых излагаются наиболее существенные и трудные вопросы, а также вопросы, не нашедшие отражения в учебной литературе.

Практические занятия направлены на приобретение практических навыков расчета систем автоматического управления. Занятия проводятся путем решения конкретных задач в аудитории.

Лабораторные работы выполняются на математических моделях с использованием современных инструментальных средств и компьютерной тех-

ники в соответствии с методиками, приведенными в указаниях к выполнению работ.

Методика выполнения курсовой работы изложена в учебно-методических материалах. Выполнять этапы курсовой работы должны своевременно и в установленные сроки.

Контроль усвоения материала дисциплины производится проверкой курсовой работы, защитой курсовой работы.

Вид учебных занятий	Деятельность студента
Лекция	Написание конспекта лекций: кратко, схематично, последовательно фиксировать основные положения, выводы, формулировки, обобщения; пометать важные мысли, выделять ключевые слова, термины. Проверка терминов, понятий с помощью энциклопедий, словарей, справочников с выписыванием толкований в тетрадь. Обозначение вопросов, терминов, материала, которые вызывают трудности, поиск ответов в рекомендуемой литературе. Если самостоятельно не удастся разобраться в материале, необходимо сформулировать вопрос и задать преподавателю на лекции или на практическом занятии.
Практическое занятие	Конспектирование рекомендуемых источников. Работа с конспектом лекций, подготовка ответов к контрольным вопросам, просмотр рекомендуемой литературы. Прослушивание аудио- и видеозаписей по заданной теме, выполнение расчетно-графических заданий, решение задач по алгоритму.
Лабораторная работа	Лабораторные работы позволяют научиться применять теоретические знания, полученные на лекции при решении конкретных задач. Чтобы наиболее рационально и полно использовать все возможности лабораторных для подготовки к ним необходимо: следует разобрать лекцию по соответствующей теме, ознакомиться с соответствующим разделом учебника, проработать дополнительную литературу и источники, решить задачи и выполнить другие письменные задания.
Самостоятельная работа	Самостоятельная работа студентов способствует глубокому усвоению учебного материала и развитию навыков самообразования. Самостоятельная работа предполагает следующие составляющие: <ul style="list-style-type: none">- работа с текстами: учебниками, справочниками, дополнительной литературой, а также проработка конспектов лекций;- выполнение домашних заданий и расчетов;- работа над темами для самостоятельного изучения;- участие в работе студенческих научных конференций, олимпиад;- подготовка к промежуточной аттестации.
Подготовка к промежуточной аттестации	Готовиться к промежуточной аттестации следует систематически, в течение всего семестра. Интенсивная подготовка должна начаться не позднее, чем за месяц-полтора до промежуточной аттестации. Данные перед зачетом, экзаменом, экзаменом три дня эффективнее всего использовать для повторения и систематизации материала.