

Документ подписан простой электронной подписью

Информация о владельце:

ФИО: Рукович Александр Владимирович

Должность: Директор

Дата подписания: 25.11.2021 18:45:12

Уникальный программный ключ:

f45eb7c44954саас05еа7d4f32еb8d7d6b5сb96аеdд9b4bса097агdдsнb7097

Министерство образования и науки Российской Федерации

Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего профессионального образования

«СЕВЕРО-ВОСТОЧНЫЙ ФЕДЕРАЛЬНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ ИМЕНИ М.К. АММОСОВА»

Технический институт (филиал) ФГАОУ ВО «СВФУ» в г. Нерюнгри

Кафедра электропривода и автоматизации производственных процессов

Рабочая программа дисциплины

Б1.В.ДВ.02.02 Моделирование в технике

для программы специалитета
по направлению подготовки

21.05.04 – Горное дело

Направленность программы: Электрификация и автоматизация горного производства
Форма обучения – очная

Автор: Шабо К.Я., к.т.н., доцент кафедры ЭПиАПП, e-mail: kamilshabo@rambler.ru

РЕКОМЕНДОВАНО Представитель кафедры ЭПиАПП <u>Шабо К.Я.</u> /М.А.Новикова/ Заведующий кафедрой ЭПиАПП <u>Киушкина В.Р.</u> /В.Р.Киушкина/ протокол № <u>10</u> от « <u>28</u> » <u>03</u> 2016 г.	ОДОБРЕНО Представитель кафедры ЭПиАПП <u>Шабо К.Я.</u> /М.А.Новикова/ Заведующий кафедрой ЭПиАПП <u>Киушкина В.Р.</u> /В.Р.Киушкина/ протокол № <u>10</u> от « <u>21</u> » <u>03</u> 2016 г.	ПРОВЕРЕНО Нормоконтроль в составе ОПОП пройден Специалист УМО <u>С.П.Санникова</u> « <u>22</u> » <u>03</u> 2016 г.
Рекомендовано к утверждению в составе ОПОП Председатель УМС <u>Меркель Е.В.</u> / Е.В. Меркель протокол УМС № <u>8</u> от « <u>28</u> » <u>04</u> 2016 г.	Зав. библиотекой <u>Гошанская И.С.</u> / И.С. Гошанская « <u>23</u> » <u>03</u> 2016 г.	

Нерюнгри 2016

1. Аннотация
к рабочей программе дисциплины
Б1.В.ДВ.02.02 Моделирование в технике
Трудоёмкость 4 з.е

1. Цели освоения дисциплины.

Цель дисциплины – изучение методов моделирования, разработка и анализ математических моделей, отражающих статические и динамические свойства электрических приводов.

Ядро курса составляют учебно-профессиональные задачи по синтезу и анализу математических моделей, отражающие статические и динамические свойства электрических приводов.

Минимум содержания образовательной программы в соответствии с ФГОС направление – Электроэнергетика и электротехника

Моделирование в технике

Изучение данной дисциплины базируется на знаниях соответствующих разделов ранее изучаемых дисциплин: Физики, высшей математике, теории автоматического управления, электрических машин и электрический привод.

Краткое содержание дисциплины:

Данная дисциплина входит в раздел обязательных дисциплин вариативной части ФГОС ВО по направлению подготовки 13.03.02 – «Электроэнергетика и электротехника». Дисциплина «Моделирование в технике» объединяет ранее полученные знания из дисциплин «Математика» (разделы Дифференциальное исчисление, Интегральное исчисление), «Теоретические основы электротехника», «Электропривод», «Теория автоматического управления» в единое целое, необходимое для понимания математического моделирования.

Данный курс является основополагающим для данного направления и должен быть изучен наиболее полно. Без понимания сущности физических явлений, а также математического моделирования в технике, невозможны, производить анализ режимов работы для точного проектирования, изготовления, эксплуатация электропривода.

В результате изучения дисциплины студенты приобретают знания, умения и определенный опыт, необходимые для изучения специальных электротехнических дисциплин, теоретического и экспериментального исследования, и дальнейшей профессиональной деятельности.

1.2. Перечень планируемых результатов обучения по дисциплине, соотнесенных пла-

планируемыми результатами освоения образовательной программы

<p>Планируемые результаты освоения программы (содержание и коды компетенций)</p>	<p>Планируемые результаты обучения по дисциплине</p>
<p>Способность участвовать в разработке организационно-технической документации, выполнять задания в области сертификации технических средств, систем, процессов, оборудования и материалов. (ОПК-8); готовностью работать с программными продуктами общего и специального назначения для моделирования месторождений твердых полезных ископаемых, технологий эксплуатационной разведки, добычи и переработки твердых полезных (ПК-22).</p>	<p>Знать:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Формы представления математических моделей объектов и систем управления (ОПК-8); - Методы анализа фундаментальных свойств процессов и систем управления (ОПК-8); -- основные понятия, факты, концепции, принципы теорий естественных наук, математики и информатики; - базовый математический аппарат, связанный с прикладной математикой и информатикой; - принципы сбора, отбора и обобщения информации <p>Уметь:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Применять методы получения математических моделей объектов автоматизации и управления (ОПК-8); - Формулировать требования к свойствам систем (ОПК-8); - Проводить сравнительный анализ свойств динамических систем (ОПК-8); - Проверять устойчивость систем (ОПК-8); - выполнять стандартные действия, решать типовые задачи с учетом основных понятий и общих закономерностей, формулируемых в рамках базовых дисциплин математики, информатики и естественных наук; - понимать и применять на практике компьютерные технологии для решения различных задач; - соотносить разнородные явления и систематизировать их в рамках избранных видов профессиональной деятельности <p>Владеть:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Основами решения практических задач по расчету, анализу устойчивости, качества, проектированию систем управления математическим дисциплинам; - навыками решения практических задач, базовыми знаниями естественных наук, математики и информатики, связанными с прикладной математикой и информатикой; <p>Иметь представление:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Об основных свойствах различных классов динамических систем. - О способах коррекции свойств замкнутых систем. - Об испытаниях и эксплуатации систем управления. <p>Иметь опыт:</p> <ul style="list-style-type: none"> -Анализа и синтеза линейных систем автоматического управления любой сложности, используя современные аналитические методы и метод структурного моделирования в компьютерной

1.3. Место дисциплины структуре образовательной программы

Индекс	Наименование дисциплины (модуля) практики	Семестр изучения	Индексы и наименования учебных дисциплин (модулей), практик	
			на которые опирается содержание данной дисциплины (модуля)	для которых содержание данной дисциплины (модуля) выступает опорой
Б1.В.ДВ.02.02	Моделирование в технике	7	Высшая математика, физика, электроника, теория цепей, программирование, электрические машины, электрический привод, преобразовательная техника, микропроцессорная техника	Системы управления электроприводами

1.4. Язык преподавания русский

2. Объем дисциплины в зачетных единицах с указанием количества академических часов, выделенных на контактную работу обучающихся с преподавателем (по видам учебных занятий) и на самостоятельную работу обучающихся

Выписка из учебного плана (гр. С-ЭФ-16):

Код и название дисциплины по учебному плану	Б1.В.ДВ.02.02 Моделирование в технике	
Курс изучения	4	
Семестр(ы) изучения	7	
Форма промежуточной аттестации (зачет/экзамен)	Экзамен	
Трудоемкость (в ЗЕТ)	4 ЗЕТ	
Трудоемкость (в часах) (сумма строк №1,2,3), в т.ч.:	144	
№1. Контактная работа обучающихся с преподавателем (КР), в часах:	Объем аудиторной работы, в часах	В т.ч. с применением ДОТ или ЭО ¹ , в часах
Объем работы (в часах) (1.1.+1.2.+1.3.):	39	-
1.1. Занятия лекционного типа (лекции)	18	-
1.2. Занятия семинарского типа, всего, в т.ч.:		-
- семинары (практические занятия, коллоквиумы и т.п.)	-	-
- лабораторные работы	18	-
- практикумы	-	-
1.3. КСР (контроль самостоятельной работы, консультации)	3	-
№2. Самостоятельная работа обучающихся (СРС) (в часах)	78	
№3. Количество часов на экзамен (при наличии экзамена в учебном плане)	27	

¹Указывается, если в аннотации образовательной программы по позиции «Сведения о применении дистанционных технологий и электронного обучения» указан ответ «да».

3. Содержание дисциплины, структурированное по темам с указанием отведенного на них количества академических часов и видов учебных занятий

3.1. Распределение часов по разделам и видам учебных занятий

Раздел	Всего часов	Контактная работа, в часах									Часы СРС
		Лекции	из них с применением ЭО и ДОТ	Семинары (практические занятия, коллоквиумы)	из них с применением ЭО и ДОТ	Лабораторные работы	из них с применением ЭО и ДОТ	Практикумы	из них с применением ЭО и ДОТ	КСР (консультации)	
Введение. Роль математических методов и вычислительной техники в решении задач исследования технических систем. Современные методы моделирования и программные средства для исследования технических систем. Особенности математического моделирования при анализе физических объектов и элементов технических систем.	6	2	-	-	-	-	-	-	-	-	4 (ТР)
Основы аналитического моделирования элементов технических систем. Общие принципы формирования математических моделей элементов технических систем. Методы построения математических моделей электромеханических систем и преобразователей. Взаимосвязь моделей элементов технических систем, представленных во временном, операторном пространствах и частотной области. Частотные и переходные характеристики.	12	4	-	-	-	-	-	-	-	-	8(ТР)
Моделирование технических систем с использованием специальных программных средств. Алго-	16	2	-	-	-	4	-	-	-	1	4(ТР), 5(ЛР)

ритмы цифрового моделирования элементов технических систем, представленных дифференциальными и разностными уравнениями. Моделирование переходных и установившихся режимов.											
Составление уравнений моделей технических систем. Определение пространства состояний технических систем. Запись моделей элементов технических систем в форме Коши.	13	2	-	-	-	2	-	-	-	-	4(ТР), 5(ЛР)
Линеаризация уравнений моделей технических систем. Методы линеаризации нелинейных скалярных и векторно-матричных уравнений, описывающих динамические процессы в технических элементах и системах.	15	2	-	-	-	4	-	-	-	-	4(ТР), 5(ЛР)
Исследование технических систем на основе структурных схем. Представление дифференциального уравнения одномерной и многомерной технической системы в виде структурной схемы. Уравнения обобщенного электромеханического преобразователя и методы их решения.	15	2	-	-	-	2	-	-	-	2	4(ТР), 5(ЛР)
Взаимосвязь векторно-матричного дифференциального уравнения и матричной передаточной функции, описывающих свойства технических систем.	15	2	-	-	-	4	-	-	-	-	4(ТР), 5(ЛР)
Моделирование дискретных и цифровых технических систем. Математические критерии управляемости и наблюдаемости непрерывных и дискретных технических систем	13	2				2					4(ТР), 5(ЛР)
Контрольная работа	12	-	-	-	-	-	-	-	-	-	12(КР)
Экзамен	27										27
Всего часов за семестр	144	18	-	-	-	18	-	-	-	3	78 (27)

Примечание: ПР- оформление и подготовка к защите; ТР- теоретическая подготовка; КР – выполнение контрольной работы; НИРС, ргр – расчетно-графическая работа

Тема 1. Введение. Предмет. Основные понятия.

Основные термины, понятия и определения. Роль математических методов и вычислительной техники в решении задач исследования технических систем. Современные методы моделирования и программные средства для исследования технических систем. Особенности математического моделирования при анализе физических объектов и элементов технических систем.

Тема 2. Основы аналитического моделирования элементов технических систем.

Общие принципы формирования математических моделей элементов технических систем. Методы построения математических моделей электромеханических систем и преобразователей. Взаимосвязь моделей элементов технических систем, представленных во временном, операторном пространствах и частотной области. Частотные и переходные характеристики.

Тема 3. Моделирование технических систем с использованием специальных программных средств.

Подготовка исходного математического описания и структурных схем к решению задач моделирования в программном пакете SIMULINK. Изучение возможностей SIMULINK. Алгоритмы цифрового моделирования элементов технических систем, представленных дифференциальными и разностными уравнениями. Моделирование переходных и установившихся режимов. Моделирование технических систем с использованием специальных программных средств. Моделирование работы двигателя постоянного тока.

Тема 4. Составление уравнений моделей технических систем.

Определение пространства состояний технических систем. Запись моделей элементов технических систем в форме Коши. Модели электромеханических систем и преобразователей различных типов на основе обобщенных матричных уравнений.

Тема 5. Линеаризация уравнений моделей технических систем.

Методы линеаризации нелинейных скалярных и векторно-матричных уравнений, описывающих динамические процессы в технических элементах и системах. Линеаризация элементов, представленных графическими характеристиками.

Тема 6. Исследование технических систем на основе структурных схем.

Представление дифференциального уравнения одномерной и многомерной технической системы в виде структурной схемы. Получение передаточной функции системы на основе уравнений в пространстве состояний. Уравнения обобщенного электромеханического преобразователя и методы их решения. Взаимосвязь векторно-матричного дифференциального уравнения и матричной передаточной функции, описывающих свойства технических систем. Линейные и нелинейные модели технических систем.

Тема 7. Моделирование дискретных и цифровых технических систем.

Моделирование сложных переходных процессов в электромеханических преобразователях и электромеханических системах. Математические критерии управляемости и наблюдаемости непрерывных и дискретных технических систем. Моделирование дискретных и цифровых технических систем. Моделирование работы автономного инвертора напряжения.

4. Перечень учебно-методического обеспечения для самостоятельной работы² обучающихся по дисциплине

4.1 Содержание СРС

№	Наименование раздела (темы) дисциплины	Вид СРС	Трудоемкость (в часах)	Формы и методы контроля
1	Особенности математического моделирования при анализе физических объек-		4	Анализ теоретического материала (внеаудит. СРС)

² Самостоятельная работа студента может быть внеаудиторной (выполняется студентом самостоятельно без участия преподавателя – например, подготовка конспектов, выполнение письменных работ и др.) и аудиторной (выполняется студентом в аудитории самостоятельно под руководством преподавателя – например, лабораторная или практическая работа).

	тов и элементов технических систем.			
2	Взаимосвязь моделей элементов технических систем, представленных во временном, операторном пространствах и частотной области.		8	Анализ теоретического материала (внеаудит.СРС)
3	Моделирование технических систем с использованием специальных программных средств.	Подготовка и выполнение лабораторных работ	9	Анализ теоретического материала (внеаудит. СРС) Оформление лабораторных работ и подготовка к защите, (внеауд. СРС)
4	Составление уравнений моделей технических систем.		9	Анализ теоретического материала (внеаудит. СРС) Оформление лабораторных работ и подготовка к защите, (внеауд. СРС)
5	Линеаризация уравнений моделей технических систем.		9	Анализ теоретического материала (внеаудит. СРС) Оформление лабораторных работ и подготовка к защите, (внеауд. СРС)
6	Исследование технических систем на основе структурных схем		9	Анализ теоретического материала (внеаудит. СРС) Оформление лабораторных работ и подготовка к защите, (внеауд. СРС)
7	Взаимосвязь векторно-матричного дифференциального уравнения и матричной передаточной функции, описывающих свойства технических систем.		9	Анализ теоретического материала (внеаудит. СРС) Оформление лабораторных работ и подготовка к защите, (внеауд. СРС)
8	Моделирование дискретных и цифровых технических систем		9	Анализ теоретического материала (внеаудит.СРС) Оформление лабораторных работ и подготовка к защите, (внеауд. СРС)
9	Контрольная работа	Выполнение контрольной работы	12	Анализ теоретического материала (внеаудит. СРС), подготовка к защите, (внеауд. СРС)
	Итого 7 семестр		78	

4.2. Лабораторные работы:

Разделы (содержание) дисциплины, виды учебной работы, формы и сроки текущего контроля успеваемости студента

Таблица 2

№	Раздел дисциплины	Семестр	Неделя семестра	Виды учебной работы, включая самостоятельную работу студентов и трудоемкость, часов					Итого	Формы текущего контроля успеваемости (по неделям семестра) Форма промежуточной аттестации (по семестрам)
				Лек.	Лаб	Пр.	СРС	Итого		
1.	Моделирование технических систем с использованием специальных программных средств.	7	1-4	2	4	-	10	16	Лабораторная работа №1 «Подготовка исходного математического описания и структурных схем к решению задач моделирования в программном пакете	

									SIMULINK.»
2.	Составление уравнений моделей технических систем. Определение пространства состояний технических систем.	7	4-5	2	2	-	9	13	Лабораторная работа №2 «Модели электромеханических систем и преобразователей различных типов на основе обобщенных матричных уравнений»
3.	Линеаризация уравнений моделей технических систем. Методы.	7	6-7	2	2	-	11	15	Лабораторная работа №3 «Линеаризация элементов, представленных графическими характеристиками.»
4.	Исследование технических систем на основе структурных схем Представление дифференциального уравнения одномерной и многомерной технической системы в виде структурной схемы.	7	8-9	2	2		11	15	Лабораторная работа №4 «Получение передаточной функции системы на основе уравнений в пространстве состояний.»
5.	Взаимосвязь векторно-матричного дифференциального уравнения и матричной передаточной функции, описывающих свойства технических систем.	7	10-13	2	4		9	15	Лабораторная работа №5 «Линейные и нелинейные модели технических систем.»
6.	Моделирование дискретных и цифровых технических систем. Математические критерии управляемости и наблюдаемости непрерывных и дискретных технических систем	7	14-16	2	2		9	13	Лабораторная работа №6 «Моделирование сложных переходных процессов в электромеханических преобразователях и электромеханических системах.»
Итого				18	18	-	78	144	

Лабораторная работа №1 «Подготовка исходного математического описания и структурных схем к решению задач моделирования в программном пакете SIMULINK.»

Лабораторная работа №2

«Модели электромеханических систем и преобразователей различных типов на основе обобщенных матричных уравнений»

Лабораторная работа №3 «Линеаризация элементов, представленных графическими характеристиками.»

Лабораторная работа №4 «Получение передаточной функции системы на основе уравнений в пространстве состояний.»

Лабораторная работа №5 «Линейные и нелинейные модели технических систем.»

Лабораторная работа №6 «Моделирование сложных переходных процессов в электромеханических преобразователях и электромеханических системах.»

Целями проведения лабораторных работ являются:

- установление связей теории с практикой в форме экспериментального подтверждения положений теории;
- обучение студентов умению анализировать полученные результаты;
- контроль самостоятельной работы студентов по освоению курса;
- обучение навыкам профессиональной деятельности

Цели лабораторного практикума достигаются наилучшим образом в том случае, если выполнению эксперимента предшествует определенная подготовительная внеаудиторная работа. Поэтому преподаватель обязан довести до всех студент график выполнения лабораторных работ с тем, чтобы они могли заниматься целенаправленной домашней подготовкой.

Перед началом очередного занятия преподаватель должен удостовериться в готовности студентов к выполнению лабораторной работы путем короткого собеседования и проверки наличия у студентов заготовленных протоколов проведения работы.

Критерии оценки:

Компетенции	Характеристика ответа на теоретический вопрос / выполнения лабораторной работы	Количество набранных баллов
ОПК-8; ПК-22	<p><i>Получен допуск к выполнению лабораторной работы</i> подразумевающий, что теоретический материал, изложен в объеме, необходимом для выполнения лабораторной работы; сформулированы цели и задачи, требующие решения в ходе выполнения лабораторной работы; приведены необходимые схемы, формулы и соотношения, решены предложенные задачи; обозначена последовательность выполнения лабораторной работы, с соблюдением правил техники безопасности.. <i>Лабораторная работа выполнена в полном объеме</i>, самостоятельно, с соблюдением необходимой последовательности проведения опытов и измерений, все опыты проведены в условиях и режимах, обеспечивающих получение правильных результатов и выводов, соблюдены требования правил техники безопасности, продемонстрировано умение читать и собирать электрические схемы со знанием символики, понимания терминологии. <i>На дату защиты предоставлен отчет</i> по результатам лабораторной работы, оформленный в соответствии с требованиями ГОСТ единой системы конструкторской документации (ЕСКД), полностью отображающий проведенные исследования. В ходе защиты продемонстрировано знание основных законов и методов анализа процессов, протекающих в исследуемой области, логично и грамотно изложены умозаключения и выводы.</p>	6-8 б.
	<p><i>Получен допуск к выполнению лабораторной работы. Лабораторная работа выполнена в полном объеме</i>, с соблюдением необходимой последовательности проведения опытов и измерений, все опыты проведены в условиях и режимах, обеспечивающих получение правильных результатов и выводов, соблюдены требования правил техники безопасности, продемонстрировано умение читать и собирать электрические схемы. В процессе выполнения лабораторной работы студент обратился за помощью к преподавателю. <i>На дату защиты (или в срок не позднее 3 дней от даты защиты) предоставлен отчет</i> по результатам лабораторной работы, оформленный в соответствии с требовани-</p>	5б.

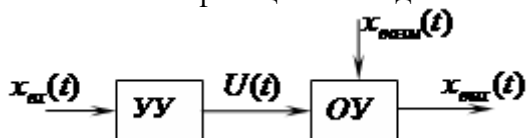
	<p>ями ГОСТ единой системы конструкторской документации (ЕСКД), полностью отображающий проведенные исследования. В ходе защиты продемонстрировано знание основных законов и методов анализа процессов, протекающих в исследуемой области. При ответах допущены неточности, корректируемые студентом с подсказки преподавателя.</p>	
	<p>Получен допуск к выполнению лабораторной работы. Лабораторная работа выполнена в полном объеме, с соблюдением необходимой последовательности проведения опытов и измерений, соблюдены требования правил техники безопасности. В процессе выполнения лабораторной работы студент обращался за помощью к преподавателю. Отчет по результатам лабораторной работы, оформленный в соответствии с требованиями ГОСТ единой системы конструкторской документации (ЕСКД), полностью отображающий проведенные исследования, предоставлен не в срок. В ходе защиты продемонстрировано знание основных законов и методов анализа процессов, протекающих в исследуемой области. При ответах допущены ошибки, корректируемые студентом с подсказки преподавателя.</p>	4 б.
	<p>При получении допуска к выполнению лабораторной работы ответы выявили незнание студентом определений основных понятий, законов, правил, основных положений теории, формул, незнание приемов решения задач, аналогичных ранее решенным на практических занятиях, т.е. уровень знаний не позволяет ему провести опыт, необходимые расчеты, или использовать полученные данные для формулировки выводов. Дополнительные и уточняющие вопросы преподавателя не приводят к коррекции ответа студента. или Ответ на вопрос полностью отсутствует или Отказ от ответа</p>	0 б.

Тема контрольной работы: «Исследование САУ»

Пример тестовых заданий

1. Отметьте правильный ответ

По классификации САУ данная схема относится к:



- замкнутой системе.
- разомкнутой системе.
- системе с принципом управления по отклонению
- системе с компенсацией возмущения

2. Отметьте правильный ответ

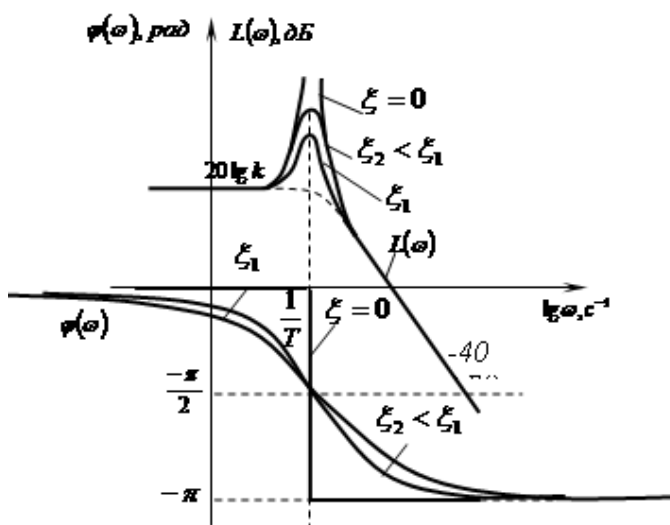
Единичное ступенчатое воздействие (*единичная ступенчатая функция, функция Хевисайда*) – это воздействие, которое мгновенно возрастает и далее остается неизменным и может быть описано следующим выражением:

- $\delta(t) = \begin{cases} \infty & \text{при } t = 0, \\ 0 & \text{при } t \neq 0. \end{cases}$
- $1(t) = \begin{cases} 0 & \text{при } t < 0; \\ 1 & \text{при } t \geq 0. \end{cases}$
- $h(t) = \int_0^t w(t) dt$
- $h(t) = L^{-1} \left\{ \frac{W(p)}{p} \right\}.$

Отметьте правильный ответ

Логарифмические амплитудно- и фазо- частотные характеристики звеньев

- колебательного и аperiodического II порядка
- консервативного и колебательного
- аperiodического II порядка и консервативного
- форсирующего и колебательного



Контрольные вопросы

1. Роль математических методов и вычислительной техники в решении задач исследования технических систем.
2. Современные методы моделирования и программные средства для исследования технических систем.
3. Особенности математического моделирования при анализе физических объектов и элементов технических систем.
4. Общие принципы формирования математических моделей элементов технических систем.
5. Методы построения математических моделей электромеханических систем и преобразователей.
6. Взаимосвязь моделей элементов технических систем, представленных во временном, операторном пространствах и частотной области.
7. Частотные и переходные характеристики.
8. Подготовка исходного математического описания и структурных схем к решению задач моделирования в программном пакете SIMULINK.
9. Алгоритмы цифрового моделирования элементов технических систем, представленных дифференциальными и разностными уравнениями.
10. Моделирование переходных и установившихся режимов.
11. Составление уравнений моделей технических систем

12. Линеаризация уравнений моделей технических систем
13. Определение пространства состояний технических систем.
14. Запись моделей элементов технических систем в форме Коши.
15. Модели электромеханических систем и преобразователей различных типов на основе обобщенных матричных уравнений.
16. Методы линеаризации нелинейных скалярных и векторно-матричных уравнений, описывающих динамические процессы в технических элементах и системах.
17. Линеаризация элементов, представленных графическими характеристиками.
18. Исследование технических систем на основе структурных схем
19. Моделирование дискретных и цифровых технических систем
20. Представление дифференциального уравнения одномерной и многомерной технической системы в виде структурной схемы.
21. Получение передаточной функции системы на основе уравнений в пространстве состояний.
22. Уравнения обобщенного электромеханического преобразователя и методы их решения.
23. Взаимосвязь векторно-матричного дифференциального уравнения и матричной передаточной функции, описывающих свойства технических систем.
24. Линейные и нелинейные модели технических систем.
25. Моделирование сложных переходных процессов в электромеханических преобразователях и электромеханических системах.
26. Математические критерии управляемости и наблюдаемости непрерывных и дискретных технических систем.

Критерии оценки контрольной

Компетенции	Характеристика ответа на теоретический вопрос / выполнения практического задания	Количество набранных баллов
ОПК-8; ПК-22	Работа выполнена в соответствии с заданием, показана совокупность осознанных знаний по дисциплине, доказательно раскрыты основные положения вопросов; в ответе прослеживается четкая структура, логическая последовательность, отражающая сущность раскрываемых понятий, теорий, явлений. Графическая часть соответствует требованиям ГОСТа. Могут быть допущены недочеты в определении терминов и понятий, исправленные студентом самостоятельно в процессе ответа.	226
	Работа выполнена в соответствии с заданием, показано умение выделить существенные и несущественные признаки, причинно-следственные связи. Графическая часть соответствует требованиям ГОСТа. Могут быть допущены 2-3 неточности или незначительные ошибки, исправленные студентом с помощью преподавателя.	186
	В работе сделаны незначительные ошибки в расчетах. Логика и последовательность изложения имеют нарушения. Допущены ошибки в раскрытии понятий, употреблении терминов. Студент не способен самостоятельно выделить существенные и несущественные признаки и причинно-следственные связи. В ответе отсутствуют выводы. Умение раскрыть значение обобщенных знаний не показано. Графическая часть имеет отступления от ГОСТов.	136.
	Работа имеет значительные недочеты в расчетах и выборе справочных данных. Присутствуют фрагментарность, не-	Не оценивается

	логичность изложения. Студент не осознает связь обсуждаемого вопроса с другими объектами дисциплины. Графическая часть не соответствует ГОСТу.	
--	--	--

5. Методические указания для обучающихся по освоению дисциплины

Методические указания для помощи обучающимся в успешном освоении дисциплины в соответствии с запланированными видами учебной и самостоятельной работы обучающихся:

Учебно-методический комплекс по дисциплине «Моделирование в технике», включающий методические указания для обучающихся по освоению дисциплины <http://moodle.nfygu.ru/course/view.php?id=4506>

Рейтинговый регламент по дисциплине:

№	Вид выполняемой учебной работы (контролирующие материалы)		Количество баллов (min)	Количество баллов (max)	Примечание
	Испытания / Формы СРС	Время, час			
1	Выполнение и защита лабораторных работ	50ч.	24	8*6=48 баллов	Защита лабораторных работ
3	Контрольная работа	10час.	13б.	22б.	
4	Экзамен	27ч.		30б.	
4	Итого	60ч.+27ч.экз.	37	100	

6. Фонд оценочных средств для проведения промежуточной аттестации обучающихся по дисциплине

6.1. Показатели, критерии и шкала оценивания

Коды оцениваемых компетенций	Показатель оценивания (по п.1.2.РПД)	Уровни освоения	Критерии оценивания (дескрипторы)	Оценка
ОПК-8, ПК-22	Знать: - Формы представления математических моделей объектов и систем управления (ОПК-8); - Методы анализа фундаментальных свойств процессов и систем управления (ОПК-8); -Работу над проектами электроэнергетических и электротехнических систем и их компонентов (ПК-22); готовностью участвовать в подготовке технико-экономического обоснования проектов создания систем и средств автоматизации и управления (ПК-22). Уметь:	Высокий	Знание по предмету демонстрируется на фоне понимания его в системе данной науки и междисциплинарных связей. Показано умение выделить существенные и несущественные признаки, причинно-следственные связи. Могут быть допущены недочеты в определении понятий, исправленные студентом самостоятельно в процессе ответа. Логика и последовательность изложения имеют некоторые нарушения. Допущены ошибки в раскрытии понятий, употреблении терминов. Студент частично способен самостоятельно выделить существенные и несущественные признаки и причинно-следственные связи. В ответе отсутствуют убедительные	отлично

	<p>- Применять методы получения математических моделей объектов автоматизации и управления (ОПК-8);</p> <p>- Формулировать требования к свойствам систем (ОПК-8);</p> <p>- Проводить сравнительный анализ свойств динамических систем (ОПК-8);</p> <p>- Проверять устойчивость систем (ОПК-8);</p> <p>- Проводить расчет корректирующих звеньев для обеспечения заданных свойств систем автоматического управления (ПК-8).</p> <p>-Собирать и анализировать исходные данные для проектирования элементов оборудования и объектов деятельности в целом с использованием нормативной документации и современных методов поиска и обработки информации (ПК-22)</p> <p>Владеть:</p> <p>- Основами анализа и синтеза систем автоматического управления (ПК-22)</p> <p>- Основами решения практических задач по расчету, анализу устойчивости, качества, проектированию систем управления (ОПК-8)</p> <p>Иметь представление:</p> <p>- Об основных свойствах различных классов динамических систем.</p> <p>- О способах коррекции свойств замкнутых систем.</p> <p>- Об испытаниях и эксплуатации систем управления.</p> <p>Иметь опыт:</p> <p>-Анализа и синтеза линейных систем автоматического управления любой сложности, используя современные аналитические методы и метод структурного моделирования в компьютерной программе Simulink / MatLab / «Electronics Workbench 5.12» (ОПК-8).</p>		<p>тельные выводы. Умение раскрыть значение обобщенных знаний вызывает незначительные трудности. Речевое оформление требует поправок, коррекции.</p>	
		Базовый	<p>Даны полные, развернутые ответы на поставленные вопросы, показано умение выделить существенные и несущественные недочеты. Ответ четко структурирован, логичен, изложен литературным языком с использованием профессиональной терминологии по дисциплине.</p> <p>Практические работы выполнены согласно алгоритму, отсутствуют незначительные ошибки различных типов, не меняющие суть решений, оформление измерений и вычислений в соответствии с техническими требованиями.</p> <p>Могут быть допущены 2-3 неточности или незначительные ошибки, исправленные студентом с помощью преподавателя.</p>	хорошо
		Минимальный	<p>Даны недостаточно полные и недостаточно развернутые ответы. Логика и последовательность изложения имеют нарушения. Допущены ошибки в раскрытии понятий, употреблении терминов. В ответе отсутствуют выводы. Умение раскрыть значение обобщенных знаний не показано. Недостаточно верно используется профессиональная терминология.</p> <p>Лабораторные работы выполнены согласно алгоритму, отсутствуют незначительные ошибки различных типов, исправленные в процессе ответа, оформление измерений и вычислений также имеют отклонения от технических требований. Допущены 4-5 ошибок различных типов, в целом соответствует нормативным требованиям.</p>	удовлетворительно
		Не освоены	<p>Ответ представляет собой разрозненные знания с существенными ошибками по вопросу. Присутствуют фрагментарность, нелогичность изложения. Студент не осознает связь обсуждаемого вопроса по билету с другими объектами дисциплины. Отсутствуют выводы, конкретизация и доказательность изложения. Речь неграмотная, терминология не используется. Дополнительные и уточняющие вопросы преподавателя не</p>	неудовлетворительно

			приводят к коррекции ответа студента. или Ответ на вопрос полностью отсутствует или Отказ от ответа	
--	--	--	---	--

6.2. Типовые контрольные задания (вопросы) для промежуточной аттестации

7 семестр - экзамен по дисциплине «Моделирование в технике» проводится в форме собеседования по экзаменационным билетам.

Программа экзамена включает в себя 2 теоретических вопроса и 1 практическое задание, направленное на выявление уровня форсированности компетенции (ПК-22, ОПК-8).

Вопросы к экзамену:

Экзамен проводится в форме собеседования в котором студент показывает достаточные знания по теоретическим положениям и методам теории автоматического управления; также структуры, характеристик, реализации типовых звеньев и регуляторов.

Перечень теоретических вопросов: Перечень вопросов к экзамену

1. Роль математических методов и вычислительной техники в решении задач исследования технических систем.
2. Современные методы моделирования и программные средства для исследования технических систем.
3. Особенности математического моделирования при анализе физических объектов и элементов технических систем.
4. Общие принципы формирования математических моделей элементов технических систем.
5. Методы построения математических моделей электромеханических систем и преобразователей.
6. Взаимосвязь моделей элементов технических систем, представленных во временном, операторном пространствах и частотной области.
7. Частотные и переходные характеристики.
8. Подготовка исходного математического описания и структурных схем к решению задач моделирования в программном пакете SIMULINK.
9. Алгоритмы цифрового моделирования элементов технических систем, представленных дифференциальными и разностными уравнениями.
10. Моделирование переходных и установившихся режимов.
11. Определение пространства состояний технических систем.
12. Запись моделей элементов технических систем в форме Коши.
13. Модели электромеханических систем и преобразователей различных типов на основе обобщенных матричных уравнений.
14. Методы линеаризации нелинейных скалярных и векторно-матричных уравнений, описывающих динамические процессы в технических элементах и системах.
15. Линеаризация элементов, представленных графическими характеристиками.
16. Представление дифференциального уравнения одномерной и многомерной технической системы в виде структурной схемы.
17. Получение передаточной функции системы на основе уравнений в пространстве состояний.
18. Уравнения обобщенного электромеханического преобразователя и методы их решения.
19. Взаимосвязь векторно-матричного дифференциального уравнения и матричной передаточной функции, описывающих свойства технических систем.
20. Линейные и нелинейные модели технических систем.
21. Моделирование сложных переходных процессов в электромеханических преобразова-

телях и электромеханических системах.

22. Математические критерии управляемости и наблюдаемости непрерывных и дискретных технических систем.

Критерии оценки экзамена

Компетенции	Характеристика ответа на теоретический вопрос / выполнения практического задания	Количество набранных баллов
	<p>Теоретические вопросы Дан полный, развернутый ответ на поставленный вопрос, показана совокупность осознанных знаний по дисциплине, доказательно раскрыты основные положения вопросов; в ответе прослеживается четкая структура, логическая последовательность, отражающая сущность раскрываемых понятий, теорий, явлений. Знание по предмету демонстрируется на фоне понимания его в системе данной науки и междисциплинарных связей. Могут быть допущены недочеты в определении терминов и понятий, исправленные студентом самостоятельно в процессе ответа.</p> <p>Практический вопрос Задача решена в соответствии с алгоритмом, отличное владение и понимание структуры решенной задачи.</p>	30 б.
ОПК-8	<p>Теоретические вопросы Дан полный, развернутый ответ на поставленный вопрос, показано умение выделить существенные и несущественные признаки, причинно-следственные связи. Ответ четко структурирован, логичен, Могут быть допущены 2-3 неточности или незначительные ошибки, исправленные студентом с помощью преподавателя.</p> <p>Практический вопрос Задача решена в соответствии с алгоритмом, отличное владение и понимание структуры решенной задачи.</p>	24балла
ПК-22	<p>Теоретические вопросы Дан недостаточно полный и недостаточно развернутый ответ. Логика и последовательность изложения имеют нарушения. Допущены ошибки в раскрытии понятий, употреблении терминов. Студент не способен самостоятельно выделить существенные и несущественные признаки и причинно-следственные связи. В ответе отсутствуют выводы. Умение раскрыть значение обобщенных знаний удовлетворительно.</p> <p>Практический вопрос Задача решена в соответствии с алгоритмом, однако при решении задачи возникают трудности в выборе необходимых справочных данных.</p>	18 баллов
	<p>Теоретические вопросы Ответ представляет собой разрозненные знания с существенными ошибками по вопросу. Присутствуют фрагментарность, нелогичность изложения. Студент не осознает связь обсуждаемого вопроса по билету с другими объектами дисциплины. Отсутствуют выводы, конкретизация и доказательность изложения. Речь неграмотная, терминология не используется.</p> <p>Практический вопрос Отсутствует решение задачи. или Ответ на вопрос полностью отсутствует или Отказ от ответа</p>	пересдача экзамена

6.3. Методические материалы, определяющие процедуры оценивания

Характеристики процедуры	Б1.В.ДВ.02.02 Моделирование в технике
Вид процедуры	экзамен
Цель процедуры	выявить степень сформированности компетенции ОПК-8, ПК-22
Локальные акты вуза, регламентирующие проведение процедуры	Положение о проведении текущего контроля успеваемости и промежуточной аттестации обучающихся СВФУ, версия 2.0, утверждено ректором СВФУ 15.03.2016 г. Положение о балльно-рейтинговой системе в СВФУ, версия 4.0, утверждено 21.02.2018 г.
Субъекты, на которых направлена процедура	студенты 4 курса
Период проведения процедуры	зимняя экзаменационная сессия
Требования к помещениям и материально-техническим средствам	Специальное оборудованные помещения с лабораторными стендами, отвечающими требованиям освоения дисциплины в полном объеме
Требования к банку оценочных средств	-
Описание проведения процедуры	Экзамен принимается в устной форме по билетам или в форме тестирования. Экзаменационный билет по дисциплине включает два теоретических вопроса и практическое задание. Время на подготовку – 1 астрономический час.
Шкалы оценивания результатов	Шкала оценивания результатов приведена в п.6.1. РПД.
Результаты процедуры	В результате сдачи всех заданий для СРС студенту необходимо набрать 45 баллов, чтобы быть допущенным к экзамену.

7. Перечень основной и дополнительной учебной литературы, необходимой для освоения дисциплины

№	Автор, название, место издания, издательство, год издания учебной литературы, вид и характеристика иных информационных ресурсов	Наличие грифа, вид грифа	Библиотека ТИ (Ф) СВФУ, кол-во экземпляров	Электронные издания: точка доступа к ресурсу (наименование ЭБС, ЭБ СВФУ)	Количество студентов
Основная литература ³					
1	Моделирование электротехнических устройств [Электронный ресурс] И.И. Алиев, И.А. Гурина Учебно-методическое пособие Черкесск: Северо-Кавказская государственная гуманитарно-технологическая академия, 2013. — 45 с. — 2227-8397.	УМО		http://www.iprbookshop.ru/27206.html2 .	18
	Моделирование электротехнических устройств в MATLAB. SimPowerSystems и Simulink [Электронный ресурс] И.В. Черных Практическое руководство Саратов: Профобразование, 2017. — 288 с. — 978-5-4488-0085-6.	УМО		http://www.iprbookshop.ru/63804.html2	18
Дополнительная литература					
1	Имитационное моделирование систем [Электронный ресурс] Черняева С.Н. Денисенко В.В. Учебное пособие Воронеж: Воронежский государственный университет инженерных технологий, 2016. — 96 с. — 978-5-00032-180-5.			http://www.iprbookshop.ru/50630.html	18
2	Моделирование электротехнических устройств [Электронный ресурс] И.А. Гурина Учебно-методическое пособие Черкесск: Северо-Кавказская государственная гуманитарно-технологическая академия, 2014. — 34 с. — 2227-8397			http://www.iprbookshop.ru/27205.html	18
3	Бесекерский В.А. и др. Сборник задач по теории автоматического регулирования и управления. – М.: Наука, 1978. – 512 с.				18
4	Иващенко Н.Н. Автоматическое регулирование.-М.: Машиностроение, 1973.-608 с.				18

³ Рекомендуется указывать не более 3-5 источников (с грифами).

5	Теория автоматического управления. В двух частях./ Под ред. А.А. Воронова. – М.: Высшая школа. 1986. - 844 с.				18
6	Юревич Е.А. Теория автоматического управления. – Л.: Энергия, 1975. - 416 с.				18
Периодические издания					
	Электромеханика				
	Электроника				
	Электротехника				
Методические разработки вуза					
1	Земская О.П. Электронный учебник по ЕWB: ТИ (ф) ЯГУ 2003.	ТИ (ф) СВФУ	50		18
2	Киушкина В.Р., Старостина Л.В. Учебно-методическое-пособие по самостоятельным, расчетно-графическим и индивидуальным работам по дисциплине «Теория автоматического управления». - Нерюнгри: ТИ (ф) СВФУ, 2014 – 60с.	ТИ (ф) СВФУ	50		18
3	Киушкина В.Р. Учебно-методическое-пособие для студентов электроэнергетических и электротехнических направлений. Самостоятельная работа студентов - рекомендации. – Нерюнгри: ТИ (ф) СВФУ, 2015 – 46с.	ТИ (ф) СВФУ	50		18
4	Киушкина В.Р. Учебно-методическое-пособие для студентов электроэнергетических и электротехнических направлений. Самостоятельная работа студентов - рекомендации. (РАЗДЕЛ. Программное обеспечение в инженерных задачах) – Нерюнгри: ТИ (ф) СВФУ, 2015 – 46с.	ТИ (ф) СВФУ	50		18

8. Перечень информационных технологий, используемых при осуществлении образовательного процесса по дисциплине (модулю), включая перечень программного обеспечения и информационных справочных систем (при необходимости)

- модульная объектно-ориентированная динамическая учебная среда «Moodle».
- Электронные презентационные плакаты. Автоматизированные системы управления на основе микропроцессорных технологий

8.1. Перечень ресурсов информационно-телекоммуникационной сети "Интернет", необходимых для освоения дисциплины (модуля)

- 1) Электронная научная библиотека, IPRbooks <http://www.IPRbooks.ru>
- 2) Электронная библиотека Лань www.lanbook.com

3) Электрораборатория, <http://www.yanviktor.narod.ru>

9. Описание материально-технической базы, необходимой для осуществления образовательного процесса по дисциплине

лекции и практические занятия проводятся в учебных аудиториях с использованием мультимедийных средств для представления презентаций лекций;

- лабораторные занятия проводятся в компьютерном классе с требуемым программным обеспечением:

1. Программа схемотехнического моделирования EWB 5.12.
2. Пакеты моделирования динамических систем Simulink
3. Пакеты программ для математических расчетов MathCad.

№ п/п	Виды учебных занятий*	Наименование аудиторий, кабинетов, лабораторий и пр.	Перечень оборудования
1.	Лабораторные работы	Кабинеты ауд №510	Ноутбук HP Compaq 1.86/512/80/DVD-RW/Wifi (1 шт.), осциллограф С-1-117 (1 шт.), проектор NEC Projector NP40G (1 шт.), тип.комп. учеб оборуд "Электрические аппараты" исполнение стендовое (1 шт.), тип.комп.учебного оборуд "Программирование микроконтроллеров" ПМ (1 шт.), тип.комп. учебного оборудования "Основы цифровой техники" исполнение моноблочное (1 шт.), типовой комплект уч.оборуд "Электрические измерения и основы метрологии" наст.ва (1 шт.), экран Projecta SlimScreen 160x160см Mattle White S (1 шт.), комплект мебели (14 шт.), стол письменный (1 шт.), стул (1 шт.), доска (1 шт.), трибуна (1 шт.).
2.	Лекция, контрольная работа	Кабинеты №А510	Ноутбук HP Compaq 1.86/512/80/DVD-RW/Wifi (1 шт.), осциллограф С-1-117 (1 шт.), проектор NEC Projector NP40G (1 шт.), тип.комп. учеб оборуд "Электрические аппараты" исполнение стендовое (1 шт.), тип.комп.учебного оборуд "Программирование микроконтроллеров" ПМ (1 шт.), тип.комп. учебного оборудования "Основы цифровой техники" исполнение моноблочное (1 шт.), типовой комплект уч.оборуд "Электрические измерения и основы метрологии" наст.ва (1 шт.), экран Projecta SlimScreen 160x160см Mattle White S (1 шт.), комплект мебели (14 шт.), стол письменный (1 шт.), стул (1 шт.), доска (1 шт.), трибуна (1 шт.).

10. Перечень информационных технологий, используемых при осуществлении образовательного процесса по дисциплине, включая перечень программного обеспечения и информационных справочных систем

10.1. Перечень информационных технологий, используемых при осуществлении образовательного процесса по дисциплине⁴

При осуществлении образовательного процесса по дисциплине используются следующие информационные технологии:

- использование на занятиях электронных изданий (чтение лекций с использованием слайд-презентаций, электронного учебного пособия), видео- и аудиоматериалов (через Интернет);
- организация взаимодействия с обучающимися посредством электронной почты и СДО Moodle.

10.2. Перечень программного обеспечения

- Math Works-SIMULINK, Simulink 2013b, ZOOM.

10.3. Перечень информационных справочных систем

https://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%A2%D0%B5%D0%BE%D1%80%D0%B8%D1%8F_%D0%B0%D0%B2%D1%82%D0%BE%D0%BC%D0%B0%D1%82%D0%B8%D1%87%D0%B5%D1%81%D0%BA%D0%BE%D0%B3%D0%BE_%D1%83%D0%BF%D1%80%D0%B0%D0%B2%D0%BB%D0%B5%D0%BD%D0%B8%D1%8F

⁴В перечне могут быть указаны такие информационные технологии, как использование на занятиях электронных изданий (чтение лекций с использованием слайд-презентаций, электронного курса лекций, графических объектов, видео- аудио- материалов (через Интернет), виртуальных лабораторий, практикумов), специализированных и офисных программ, информационных (справочных) систем, баз данных, организация взаимодействия с обучающимися посредством электронной почты, форумов, Интернет-групп, скайп, чаты, видеоконференцсвязь, компьютерное тестирование, дистанционные занятия (олимпиады, конференции), вебинар (семинар, организованный через Интернет), подготовка проектов с использованием электронного офиса или оболочки) и т.п.

**Тема расчетно-графической работы: «Исследование замкнутой САУ»
Общие положения и требования по выполнению РГР**

Задание на расчетно-графическую работу имеет практический характер и предусматривает расчеты показателей объекта изучения дисциплины с использованием различных способов и методов по индивидуальным исходным данным.

Каждый студент выполняет свой индивидуальный вариант задания в зависимости от выбранного объекта территории исследования. Выполняет работу по предложенным алгоритмам и методикам, допускается творческий подход и изменение предложенных схем решения поставленного вопроса.

Выполненная и оформленная в соответствии с требованиями работа представляется студентом на проверку преподавателю в срок, не позднее установленного в графике контрольных точек СРС. По результатам проверки преподавателем назначается допуск к защите работы, с целью выявления степени самостоятельности выполнения задания, уровня освоенности материала, уровня сформированности компетенций или выдачи рекомендаций для устранения имеющихся в работе недостатков. В случае не допуска, выполненная на оценку «неудовлетворительно» РГР возвращается для доработки и исправления ошибок студенту.

При обнаружении факта дублирования чье-то работы преподаватель имеет право изменить вариант работы и потребовать от студента его выполнения в полном объеме.

Основополагающим в оценивании выполненной РГР является уровень ее защиты.

Критерии выставления оценок за выполнение и защиту РГР:

Компетенции	Характеристика выполнения и защиты РГР	Количество набранных баллов
ПК-3, ПК-4, ПК-6, ПК-7	<ul style="list-style-type: none"> - РГР сдана в срок, - оформление соответствует требованиям ГОСТ ЕСКД, - имеется список использованной литературы, содержащей справочный материал и источники профессиональных баз данных, - практическое задание решено правильно, с обоснованием применяемых теоретических положений и сопровождается необходимым анализом и интерпретацией полученных результатов; - теоретическая взаимосвязь с практической частью освещена в полном объеме, глубоко, с использованием различных источников научно-технической информации. - при защите указывается взаимосвязь выполненных расчетов с последующими, четко обосновывается выполненный расчет; - при защите прослеживается четкая структура, логическая последовательность, отражающая сущность раскрываемых понятий, теорий, явлений - на вопросы даются полные исчерпывающие обоснованные ответы 	30-40, «отлично»
	<ul style="list-style-type: none"> РГР сдана в срок, - оформление соответствует требованиям ГОСТ ЕСКД, - имеется список использованной литературы, содержащей справочный материал и источники профессиональных баз данных, - в практической части задания имеются отдельные недостатки, не влияющие на окончательный результат исследования; - при освещении теоретической взаимосвязи с практической частью был использован только один источник научной информации, но вопрос освещен в целом правильно; - четко обосновывается выполненный расчет; - при защите прослеживается четкая структура, логическая последовательность, отражающая сущность раскрываемых понятий, теорий, явлений - на вопросы даются обоснованные ответы, допускаются незначительные недочеты 	20-30, «хорошо»
	<ul style="list-style-type: none"> - РГР сдана в срок, - оформление соответствует требованиям, - имеется список использованной литературы, содержащей справочный материал, - практическое задание выполнено со значительными ошибками - не в полном объеме освещена теоретическая взаимосвязь с практической частью, поверхностное обоснование без примеров и необходимых обобщений; - при защите прослеживается не четкая последовательность, не совсем верно с затруднениями обосновывается выполненный расчет; 	10-20, «удовлетворительно»

	<ul style="list-style-type: none"> - допускаются неточности в формулировках, исправленные студентом, с помощью преподавателя - ответы на дополнительные вопросы даны в полном объеме, могут содержать небольшие неточности - в схемах допущены неточности 	
	<ul style="list-style-type: none"> - оформление не соответствует требованиям, - список литературы содержит справочный материал, - неуверенность в применении справочной литературы, - не выполнены требования на оценку «удовлетворительно» - отсутствует выполнение большей части задания или неверность решения. - при защите допущены неточности в изложении, грубые ошибки, - не верно обосновывается выполненный расчет; - изложение основных аспектов несвязно, - отсутствуют выводы, конкретизация и доказательность изложения, - структура расчетов не соответствует содержанию, - на большую часть дополнительных вопросов даны неправильные ответы, - в схемах допущены неточности, чертежи выполнены не верно - ответы на наводящие вопросы не верные. 	<p style="text-align: center;">менее 10, «неудовлетворительно»</p>

Комплект заданий для расчетно-графической работы

Общие сведения о расчетно-графической работе:

Расчетно графическая работа выполняется на компьютере и содержит задания по следующим темам:

- общие понятия и определения ТАУ;
- логарифмические частотные характеристики и логарифмические единицы измерения;
- восстановление передаточной функции САУ по ее логарифмической амплитудной частотной характеристике (ЛАЧХ);
- определение по передаточной функции САУ типовых звеньев, входящих в ее структуру;
- определение по передаточной функции САУ значения фазовой частотной характеристики при заданном значении частоты;
- определение граничного коэффициента передачи разомкнутой цепи САУ;
- определение запасов устойчивости по амплитуде и фазе;
- передаточные функции САУ при жестких и гибких обратных связях;
- вывод передаточных функций четырехполюсников;
- расчет характеристик в статическом режиме;
- определение вида переходной характеристики по передаточной функции звена или виду ЛАЧХ.

Приступая к решению задач по данной теме, необходимо изучить соответствующий раздел курса лекций и выбрать из него необходимое расчетное выражение.

Решения сопровождаются необходимыми пояснениями и основными расчетными соотношениями.

Расчетно графическая работа представляет собой расчетное задание, посвященное анализу САУ 3-го порядка. Структурная схема анализируемой САУ приведена на рис. 1.1.

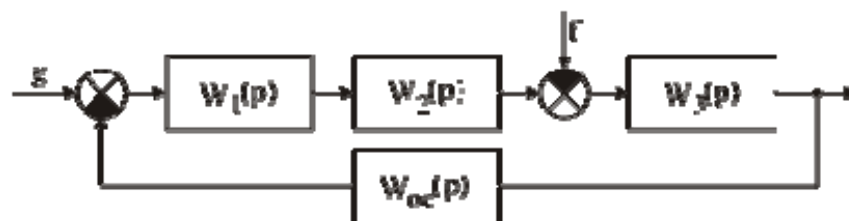


Рис. 1.1 Структурная схема САУ

В расчетно-графической работе необходимо выполнить следующие задания:

1. Определить типовые звенья, входящие в структуру САУ.
2. Определить передаточные функция САУ и ее характеристический полином.

3. По критерию устойчивости Гурвица определить устойчивость САУ, рассчитать граничное значение коэффициента передачи разомкнутой цепи и построить область устойчивости САУ относительно варьируемых параметров x_1 и x_2 .

4. Построить статические внешние характеристики для заданной САУ и для САУ, у которой значение параметра x_2 выбрано в соответствии с заданным запасом устойчивости по амплитуде ΔG . Рассчитать статизм для обоих вариантов САУ и сравнить полученные результаты.

5. Для САУ, у которой значение параметра x_2 выбрано в соответствии с заданным запасом устойчивости по амплитуде ΔG , рассчитать асимптотическую и точную ЛАЧХ, точную логарифмическую фазовую частотную характеристику (ЛФЧХ) и определить запас устойчивости по фазе $\Delta\varphi$.

6. Для замкнутой САУ, у которой значение параметра x_2 выбрано в соответствии с заданным запасом устойчивости по амплитуде ΔG , рассчитать амплитудную (АЧХ) и вещественную (ВЧХ) частотные характеристики и определить по ним показатели качества регулирования.

7. Для замкнутой САУ, у которой значение параметра x_2 выбрано в соответствии с заданным запасом устойчивости по амплитуде ΔG , рассчитать переходные характеристики по задающему g и возмущающему f воздействиям, определить по ним показатели качества регулирования и сравнить результаты с ранее полученными.

Таблица 7 – Исходные данные

Вариант	Передаточные функции и их параметры	Дополнительные условия
1	$W_1(p) = \frac{k_1}{T_1 p + 1}; \quad W_2(p) = \frac{k_2}{T_2 p + 1};$ $W_3(p) = \frac{k_3}{T_3 p + 1}; \quad W_{oc}(p) = k_{oc}$ $k_1 = 15; \quad k_2 = 2; \quad k_3 = 3; \quad k_{oc} = 0,9;$ $T_1 = 2,5c; \quad T_2 = 0,05c; \quad T_3 = 0,1c.$	Зад. возд. $g = 10B$ Возм. возд. $f = 10B$ Запас устойчив. $\Delta G = 5$ дБ Варьируемые параметры $x_1 = T_1; \quad x_2 = k_1$ Время перех. процесса $t_{min} = 0,25$ с
2	$W_1(p) = k_1; \quad W_2(p) = \frac{k_2}{T_2 p + 1};$ $W_3(p) = \frac{k_3}{p}; \quad W_{oc}(p) = \frac{k_{oc}}{T_{oc} p + 1}$ $k_1 = 12; \quad k_2 = 5; \quad k_3 = 3c^{-1}; \quad k_{oc} = 0,5;$ $T_2 = 0,6c; \quad T_{oc} = 0,6c.$	Зад. возд. $g = 5B$ Возм. возд. $f = 10B$ Запас устойчив. $\Delta G = 8$ дБ Варьируемые параметры $x_1 = T_2; \quad x_2 = k_2$ Время перех. процесса $t_{min} = 0,15$ с
3	$W_1(p) = \tau_1 p + 1; \quad W_2(p) = \frac{k_2}{T_2 p + 1};$ $W_3(p) = \frac{k_3}{T_3 p + 1}; \quad W_{oc}(p) = \frac{k_{oc}}{T_{oc} p + 1}$ $k_1 = 12; \quad k_2 = 5; \quad k_3 = 3c^{-1}; \quad k_{oc} = 0,5;$ $\tau_1 = 0,002c; \quad T_2 = 0,7c; \quad T_3 = 0,04c, \quad T_{oc} = 0,015c.$	Зад. возд. $g = 20B$ Возм. возд. $f = 10B$ Запас устойчив. $\Delta G = 5$ дБ Варьируемые параметры $x_1 = T_2; \quad x_2 = k_2$ Время перех. процесса $t_{min} = 0,15$ с
4	$W_1(p) = \frac{k_1}{T_1 p + 1}; \quad W_2(p) = \tau_2 p + 1;$ $W_3(p) = \frac{k_3}{T_3 p + 1}; \quad W_{oc}(p) = \frac{k_{oc}}{T_{oc} p + 1}$ $k_1 = 50; \quad k_3 = 5; \quad k_{oc} = 0,2;$ $T_1 = 0,1c, \quad \tau_2 = 0,01c, \quad T_3 = 0,9c, \quad T_{oc} = 0,03c.$	Зад. возд. $g = 5B$ Возм. возд. $f = 10B$ Запас устойчив. $\Delta G = 8$ дБ Варьируемые параметры $x_1 = T_1; \quad x_2 = k_1$ Время перех. процесса $t_{min} = 0,2$ с
5	$W_1(p) = \frac{k_1}{T_1 p + 1}; \quad W_2(p) = \tau_2 p + 1;$ $W_3(p) = \frac{k_3}{T_3 p + 1}; \quad W_{oc}(p) = \frac{k_{oc}}{T_{oc} p + 1}$ $k_1 = 10; \quad k_3 = 2; \quad k_{oc} = 1;$ $T_1 = 1c, \quad \tau_2 = 0,005c, \quad T_3 = 0,4c, \quad T_{oc} = 0,03c.$	Зад. возд. $g = 10B$ Возм. возд. $f = 10B$ Запас устойчив. $\Delta G = 5$ дБ Варьируемые параметры $x_1 = \tau_2; \quad x_2 = k_{oc}$ Время перех. процесса $t_{min} = 0,28$ с

6	$W_1(p) = \frac{k_1}{p}; \quad W_2(p) = \frac{k_2}{T_2 p + 1};$ $W_3(p) = \frac{k_3}{T_3 p + 1}; \quad W_{oc}(p) = k_{oc}$ $k_1 = 10c^{-1}; \quad k_2 = 4; \quad k_3 = 5; \quad k_{oc} = 1;$ $T_2 = 0,2c; \quad T_3 = 0,02c.$	Зад. возд. $g = 20B$ Возм. возд. $f = 20B$ Запас устойчив. $\Delta G = 6$ дБ Варьируемые параметры $x_1 = T_2; \quad x_2 = k_2$ Время перех. процесса $t_{min} = 0,28$ с
7	$W_1(p) = \frac{k_1}{T_1 p + 1}; \quad W_2(p) = \tau_2 p + 1;$ $W_3(p) = \frac{k_3}{p}; \quad W_{oc}(p) = \frac{k_{oc}}{T_{oc} p + 1}$ $k_1 = 4; \quad k_3 = 2c^{-1}; \quad k_{oc} = 2;$ $T_1 = 0,02c, \quad \tau_2 = 0,005c, \quad T_{oc} = 0,06c.$	Зад. возд. $g = 20B$ Возм. возд. $f = 10B$ Запас устойчив. $\Delta G = 5$ дБ Варьируемые параметры $x_1 = \tau_2; \quad x_2 = k_1$ Время перех. процесса $t_{min} = 0,195$ с
8	$W_1(p) = \frac{k_1}{T_1 p + 1}; \quad W_2(p) = \frac{k_2}{T_2 p + 1};$ $W_3(p) = \frac{k_3}{p}; \quad W_{oc}(p) = k_{oc}$ $k_1 = 5; \quad k_2 = 5; \quad k_3 = 2c^{-1}; \quad k_{oc} = 1;$ $T_1 = 0,3c; \quad T_2 = 0,03c;$	Зад. возд. $g = 10B$ Возм. возд. $f = 10B$ Запас устойчив. $\Delta G = 8$ дБ Варьируемые параметры $x_1 = T_1; \quad x_2 = k_1$ Время перех. процесса $t_{min} = 0,68$ с
9	$W_1(p) = \frac{k_1}{T_1 p + 1}; \quad W_2(p) = \frac{k_2}{T_2 p + 1};$ $W_3(p) = \frac{k_3}{T_3 p + 1}; \quad W_{oc}(p) = \tau_{oc} p + 1$ $k_1 = 6; \quad k_2 = 3; \quad k_3 = 3;$ $T_1 = 0,5c, \quad T_2 = 0,1c, \quad T_3 = 0,05c, \quad \tau_{oc} = 0,01c.$	Зад. возд. $g = 30B$ Возм. возд. $f = 10B$ Запас устойчив. $\Delta G = 10$ дБ Варьируемые параметры $x_1 = \tau_{oc}; \quad x_2 = k_2$ Время перех. процесса $t_{min} = 0,16$ с

Комплект заданий для лабораторных работ

Лабораторная работа №1.

Исследование характеристик типовых динамических звеньев САУ

Цель работы

Цель лабораторной работы является получение навыков разработки электронных моделей типовых динамических звеньев САУ, исследование их частотных и переходных характеристик.

Программа работы

1.1. Исследование аperiodического (инерционного) звена.

1.1.1. Рассчитать параметры элементов (см. таб. 1 строка №2) и собрать схему модели аperiodического (инерционного) звена в соответствии с индивидуальным вариантом таб. 2.

1.1.2. Снять переходную характеристику и определить время переходного процесса t_{min} .

Таблица №2

Вариант	k	T, мс	Вариант	k	T, мс	Вариант	k	T, мс
1	2	10	9	5	90	17	3	200
2	3	20	10	4	100	18	2	210
3	4	30	11	3	120	19	2	220
4	5	40	12	2	140	20	3	240
5	4	50	13	4	150	21	4	250
6	3	60	14	5	160	22	5	270
7	2	70	15	5	170	23	5	280
8	4	80	16	4	180	24	4	300

1.1.3. Получить экспериментальные ЛАЧХ и ЛФЧХ, измерить частоту среза ω_{cp} и значение фазы φ_{cp} на этой частоте.

1.1.4. Увеличить значение постоянной времени T звена в два, три, и четыре раза и повторить выполнение заданий по п.п. 1.1.1. и 1.1.3.

1.1.5. Построить зависимость $t_{пп} = f(T)$, $\omega_{cp} = f(T)$ и $\varphi_{cp} = f(T)$.

1.2. Исследование инерционно форсирующего звена

1.2.1. Рассчитать параметры элементов, приняв $R_2 = 100$ кОм (см. табл. 1, строка №4, б) и собрать схему модели инерционно форсирующего звена. Коэффициент передачи k принять равным 2, постоянную времени T_1 принять равной T из таб. 2., а постоянную времени T_2 – равной $T_2 = 2T_1$.

1.2.2. Снять переходную характеристику и определить величину скачка U_0 переходной характеристики при $t = 0$, установившегося значение $U_{уст}$ и время переходного процесса $t_{пп}$. Рассчитать параметры $\lambda = (U_0 / U_{уст}) \cdot 100\%$.

1.2.3. Получить экспериментальные ЛАЧХ и ЛФЧХ, измерить частоту среза ω_{cp} и значение фазы φ_{cp} на этой частоте.

1.2.4. Установить соотношения значений постоянных времени $T_2 = 3T_1$, $T_2 = 4T_1$, $T_2 = 5T_1$ и повторить выполнение задания по п.п. 1.2.1. и 1.2.3. Для изменения постоянной времени T_2 изменять значение сопротивления R_3 , а чтобы коэффициент передачи оставался постоянным, изменять также значение сопротивления резистора R_1 .

1.2.5. Построить зависимость $\lambda = f(T_2)$, $t_{пп} = f(T_2)$, $\omega_{cp} = f(T_2)$ и $\varphi_{cp} = f(T_2)$.

1.3. Исследование колебательного звена

1.3.1. Рассчитать схему модели колебательного звена в соответствии с рисунком 1. По формулам (1) - (4), приняв $R_2 = R_5 = R_6 = 100$ кОм, $C_1 = C_2 = 1$ мкФ, $\xi = 0,7$, рассчитать параметры элементов согласно индивидуальному варианту, выбранному из табл. 3.

Таблица №3

Вариант	k	T, мс	Вариант	k	T, мс	Вариант	k	T, мс
1	1	10	9	3	50	17	5	90
2	2	15	10	2	55	18	4	85
3	3	20	11	1	60	19	3	100
4	4	25	12	2	65	20	2	150
5	5	30	13	2	70	21	1	200
6	6	35	14	4	75	22	2	250
7	5	40	15	5	80	23	4	300
8	4	45	16	6	85	24	5	400

1.3.2. Снять переходную характеристику и определить время переходного процесса $t_{пп}$, фиксируя при этом максимальное $U_{макс}$ и установившегося $U_{уст}$ значение выходного напряжения.

1.3.3. Рассчитать значение перерегулирования $\delta = (U_{макс} - U_{уст} / U_{уст}) \cdot 100\%$. При правильном расчете параметров модели колебательного звена перерегулирование не должно превышать 5%.

1.3.4. Получить экспериментальные ЛАЧХ и ЛФЧХ, измерить частоту среза ω_{cp} и значение фазы φ_{cp} на этой частоте и определить запас устойчивости по фазе $\Delta\varphi$.

1.3.5. Установить значения $\xi = 0,5$, $\xi = 0,3$, $\xi = 0,1$ и повторить выполнение задания по п.п. 1.3.2. и 1.3.4.

1.3.6. Построить зависимость $\delta = f(\xi)$, $t_{пп} = f(\xi)$, $\omega_{cp} = f(\xi)$, $\varphi_{cp} = f(\xi)$ и $\Delta\varphi = f(\xi)$.

1.4. Исследование апериодического звена второго порядка

1.4.1. Собрать схему модели колебательного звена в соответствие с рисунком 1 и по формулам рассчитать параметры элементов согласно индивидуальному варианту из таблицы 3., приняв $\xi = 1$.

1.4.2. Снять переходную характеристику и определить время переходного процесса $t_{пп}$.

1.4.3. Получить экспериментальные ЛАЧХ и ЛФЧХ, измерить частоту среза ω_{cp} и значение фазы φ_{cp} на частоте среза.

1.4.4. Установить значения $\xi = 2$, $\xi = 3$, $\xi = 4$ и повторить выполнение задания по п.п. 1.4.2. и 1.4.3.

1.4.5. Построить зависимость $t_{пп} = f(\xi)$, $\omega_{cp} = f(\xi)$ и $\varphi_{cp} = f(\xi)$.

1.5. Анализ результатов работы

1.5.1. Оценить:

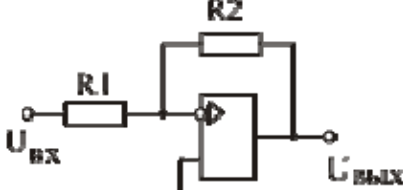
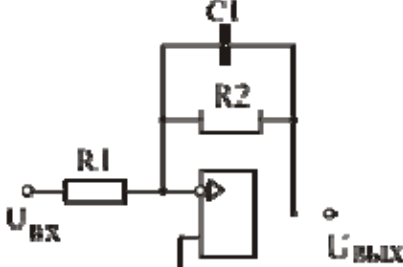
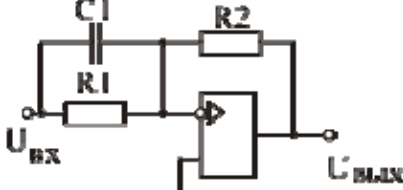
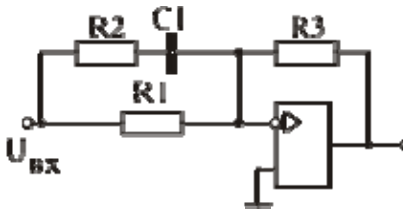
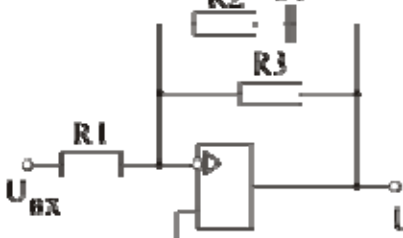
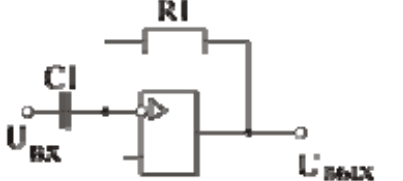
- влияние величины постоянной времени на характеристики апериодического звена;

- влияние форсирующего звена на характеристики инерционного звена
- влияние коэффициента демпфирования на характеристики колебательного звена;

1.5.2. Ответить на следующие контрольные вопросы:

- как величина постоянной времени связана с временем переходного процесса для инерционного звена?
- как величина постоянной времени связана с временем переходного процесса для инерционного звена?
- как изменятся характеристики инерционного форсирующего звена при $T_1 > T_2$ и его реализации по соответствующей электронной схеме (см. п.4 а в табл. 5.1)?
- в каком случаи колебательное звено становится консервативным и как при этом изменяется его характеристики?
- как нужно изменить схему, приведенную на рисунке 1, чтобы получить электронную модель консервативного звена?
- почему переходная характеристика аperiodического звена второго порядка имеет точку перегиба?

Таблица №1

N	Тип звена	Электронная модель	Передаточная функция и ее параметры
1	2	3	4
1	Пропорциональное (безынерционное)		$W(p) = -k;$ $k = \frac{R_2}{R_1}.$
2	Инерционное (апериодическое первого порядка)		$W(p) = -\frac{k}{T_p + 1};$ $k = \frac{R_2}{R_1},$ $T = R_2 C_1.$
3	Форсирующее		$W(p) = -k(T_p + 1);$ $k = \frac{R_2}{R_1},$ $T = R_1 C_1.$
4а	Инерционное форсирующее ($T_1 > T_2$)		$W(p) = \frac{-k(T_1 p + 1)}{T_2 p + 1};$ $k = \frac{R_3}{R_1},$ $T_1 = (R_1 + R_2) C_1,$ $T_2 = R_2 C_1.$
4б	Инерционное форсирующее ($T_1 < T_2$)		$W(p) = \frac{-k(T_1 p + 1)}{T_2 p + 1};$ $k = \frac{R_3}{R_1},$ $T_1 = R_2 C_1,$ $T_2 = (R_2 + R_3) C_1.$
5	Дифференцирующее		$W(p) = -T_p p;$ $T = R_1 C_1.$

6	Инерционное дифференцирующее		$W(p) = \frac{-T_1 p}{T_2 p + 1};$ $T_1 = R_2 C_1,$ $T_2 = R_1 C_1.$
7	Интегрирующее		$W(p) = -\frac{1}{T p};$ $T = R_1 C_1.$
8	Изодромное		$W(p) = \frac{-T_1 p + 1}{T_2 p};$ $T_1 = R_2 C_1,$ $T_2 = R_1 C_1.$

На основе моделей инерционного, пропорционального и интегрирующего звеньев (см. №1, 2 и 7 в табл. 1.) может быть получена модель колебательного звена с передаточной функцией

$$W(p) = \frac{k}{T^2 p^2 + 2\xi T p + 1}; \quad (1)$$

На рис. 1, приведен один из вариантов электронной модели, реализующий передаточную функцию (1). Покажем, что это так, и получим выражения для расчета параметров k , T и ξ формулы (1).

На выходе усилителя $Y1$ происходит преобразование и суммирование напряжений по каждому из его входов. Его передаточная функция относительно входного напряжения $U_{вх}$ и напряжения обратной связи U_{oc} представляется выражениями.

$$W_1(p) = -\frac{R_3}{R_1(R_3 C_1 p + 1)}, \quad W_2(p) = -\frac{R_3}{R_2(R_3 C_1 p + 1)}.$$

Полученный сигнал проходит через последовательно включенное интегрирующее звено на усилителе $Y2$, с передаточной функцией.

$$W_3(p) = -\frac{1}{R_4 C_2 p}.$$

Выход усилителя $Y2$ образует выход модели и сигнал с него через усилитель $Y3$ с передаточной функцией $W_4(p) = -R_6/R_5$ поступает на второй вход усилителя $Y1$.

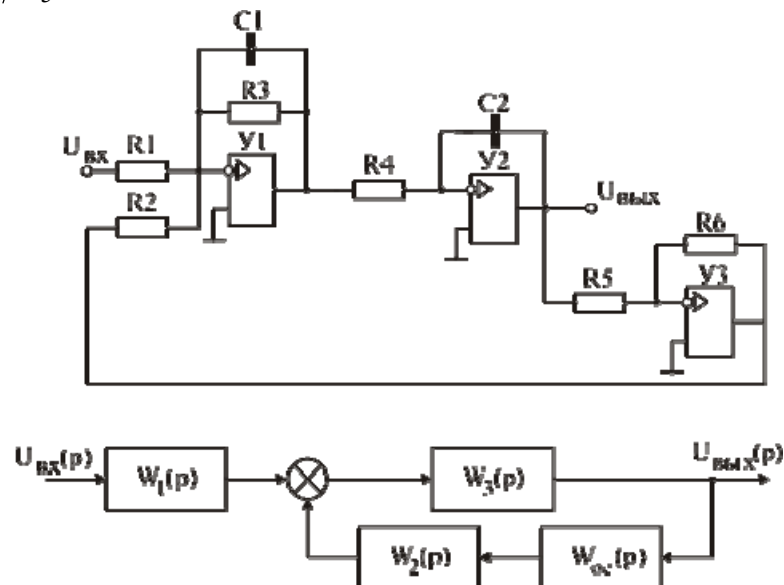


Рис. 1.

На рис. 1., приведена структурная схема, соответствующая электронной модели. Эквивалентная передаточная функция участка схемы, охвачено обратной связью, рассчитывается по выражению:

$$W_{\text{ЭКВ}}(p) = \frac{W_3(p)}{1 - W_2(p) \cdot W_3(p) \cdot W_4(p)} = \frac{\left(-\frac{1}{R_4 C_2 p}\right)}{1 - \left(-\frac{R_3}{R_2(R_3 C_1 p + 1)}\right) \cdot \left(-\frac{1}{R_4 C_2 p}\right) \cdot \left(-\frac{R_6}{R_5}\right)} =$$

$$= \frac{R_2 R_5 (R_3 C_1 p + 1)}{R_3 R_6 \left(\frac{R_2 R_4 R_5 C_1 C_2}{R_6} p^2 + \frac{R_2 R_4 R_5 C_2}{R_3 R_6} p + 1\right)}$$

Таким образом, передаточная функция электронной модели, приведенной на рис. 1., будет равна

$$W(p) = W_1(p) \cdot W_{\text{ЭКВ}}(p) = \frac{\left[-\frac{R_3}{R_1(R_3 C_1 p + 1)}\right] R_2 R_5 (R_3 C_1 p + 1)}{R_3 R_6 \left(\frac{R_2 R_4 R_5 C_1 C_2}{R_6} p^2 + \frac{R_2 R_4 R_5 C_2}{R_3 R_6} p + 1\right)} =$$

$$= \frac{R_2 R_5}{R_1 R_6} \cdot \frac{1}{\left(\frac{R_2 R_4 R_5 C_1 C_2}{R_6} p^2 + \frac{R_2 R_4 R_5 C_2}{R_3 R_6} p + 1\right)} = \frac{k}{T^2 p^2 + 2\xi T p + 1},$$

где

$$k = \frac{R_2 R_5}{R_1 R_6}, \quad (2)$$

$$T = \sqrt{\frac{R_2 R_4 R_5 C_1 C_2}{R_6}}, \quad (3)$$

$$\xi = \frac{1}{2R_3} \sqrt{\frac{R_2 R_4 R_5 C_1}{R_6 C_2}}, \quad (4)$$

Произведем расчет параметров электронной модели для $k = 3$, $T = 0,1$ с, $\xi = 0,3$. Примем $R_2 = R_5 = R_6 = 100$ кОм, $C_1 = C_2 = 1$ мкФ.

Тогда, согласно формулам (2) – (4), получим.

$$R_1 = \frac{R_2 R_5}{k \cdot R_6} = \frac{10^5 \cdot 10^5}{3 \cdot 10^5} = 33,3 \text{ кОм},$$

$$R_4 = \frac{T^2 \cdot R_6}{R_2 R_5 C_1 C_2} = \frac{(0,1)^2 \cdot 10^5}{10^5 \cdot 10^5 \cdot 1 \cdot 10^{-6} \cdot 1 \cdot 10^{-6}} = 100 \text{ кОм},$$

$$R_3 = \frac{1}{2\xi} \sqrt{\frac{R_2 R_4 R_5 C_1}{R_6 C_2}} = \frac{1}{2 \cdot 0,3} \sqrt{\frac{10^5 \cdot 10^5 \cdot 10^5 \cdot 1 \cdot 10^{-6}}{10^5 \cdot 1 \cdot 10^{-6}}} = 167 \text{ кОм}.$$

Описание методика получения электронных моделей и расчет их параметров используется при выполнении лабораторных работ.

Лабораторная работа №2. Исследование устойчивости линейных САУ

1. Цель работы

Закрепить навыки работы с пакетом прикладных программ Simulink. Исследовать влияние параметров разомкнутой (рис.1) системы на её устойчивость с помощью критериев Гурвица и Михайлова и замкнутой (рис.2), с помощью критерия Найквиста.

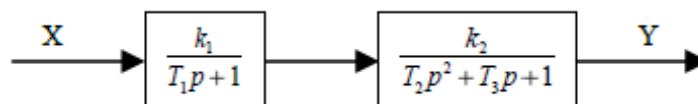


Рис. 1. Структурная схема исследуемой разомкнутой системы

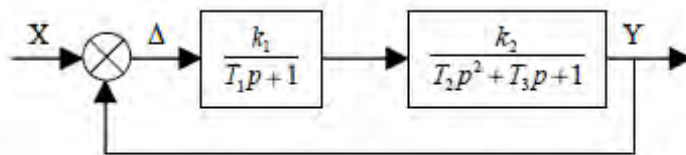


Рис. 2. Структурная схема исследуемой замкнутой системы

2. Краткие теоретические сведения

Под устойчивостью системы понимается способность ее возвращаться к состоянию установившегося равновесия после снятия возмущения, нарушившего это равновесие. Неустойчивая система непрерывно удаляется от равновесного состояния или совершает вокруг него колебания с возрастающей амплитудой (рис. 3).

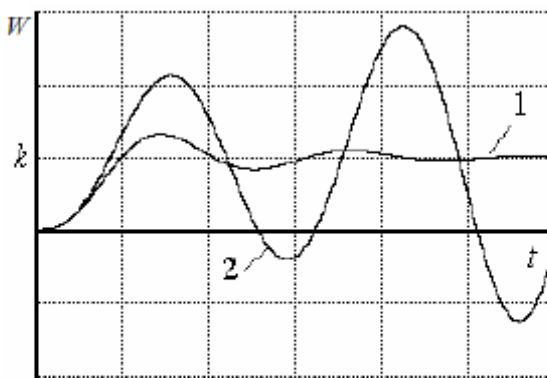


Рис. 3. Переходные характеристики системы:
1 - сходящийся процесс, система устойчива;
2 - расходящийся процесс, система неустойчива.

Об устойчивости системы можно судить по знакам корней характеристического уравнения. Правила, позволяющие судить о знаках корней характеристического уравнения без его решения, называются критериями устойчивости. Их можно разделить на алгебраические (основаны на составлении по данному характеристическому уравнению по определенным правилам алгебраических выражений, по которым можно судить об устойчивости САУ) и частотные (основаны на исследовании частотных характеристик).

2.1. Критерий устойчивости Гурвица

Это алгебраический критерий, который предполагает рассмотрение характеристического уравнения в стандартной форме:

$$A(p) = a_n p^n + a_{n-1} p^{n-1} + \dots + a_1 p + a_0 = 0.$$

Из его коэффициентов по следующему правилу составляется матрица Гурвица: на главной диагонали сверху вниз выписываются по порядку коэффициенты характеристического уравнения от a_{n-1} до a_0 включительно. В каждом столбце вниз от диагонали записывают коэффициенты при возрастающих степенях оператора p , вверх - при убывающих степенях p . Недостающие элементы в столбце дополняются нулями.

$$G = \begin{bmatrix} a_{n-1} & a_{n-3} & \dots & 0 & 0 \\ a_n & a_{n-2} & \dots & 0 & 0 \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ 0 & 0 & \dots & a_1 & 0 \\ 0 & 0 & \dots & a_2 & a_0 \end{bmatrix}.$$

Система устойчива, если все диагональные миноры матрицы Гурвица положительны.

Равенство нулю главного определителя $\Delta_n = a_n \Delta_{n-1} = 0$ говорит о том, что система находится на границе устойчивости. При этом либо $a_n = 0$ - при выполнении остальных условий система находится на границе апериодической устойчивости, либо предпоследний минор $\Delta_{n-1} = 0$ - при положительности всех остальных миноров система находится на границе колебательной устойчивости.

2.2. Критерий устойчивости Михайлова

Критерий Михайлова основан на свойствах годографа характеристического уравнения исследуемой системы регулирования. В зависимости от характера изменения годографа судят об устойчивости системы.

На основе характеристического уравнения системы:

$$a_n p^n + \dots + a_1 p + a_0 = 0$$

в котором делается подстановка $p = j\omega$, составляется вспомогательная комплексная функция:

$$A(j\omega) = a_n(j\omega)^n + \dots + a_1(j\omega) + a_0$$

которая приводится к виду:

$$A(j\omega) = R(\omega) + jJ(\omega)$$

Таким образом $A(j\omega)$ представляет собой вектор в плоскости комплексного переменного. При изменении величины от 0 до ∞ вектор $A(j\omega)$ вращается около начала координат меняя свою длину (рис. 4). Кривая, описываемая при этом концом вектора $A(j\omega)$ в плоскости комплексного переменного, называется годографом характеристического уравнения.

Система будет устойчива, если годограф, начинаясь на положительной вещественной полуоси при $\omega = 0$, проходит последовательно n квадрантов против часовой стрелки, устремляясь в n -м в (где n порядок характеристического уравнения).

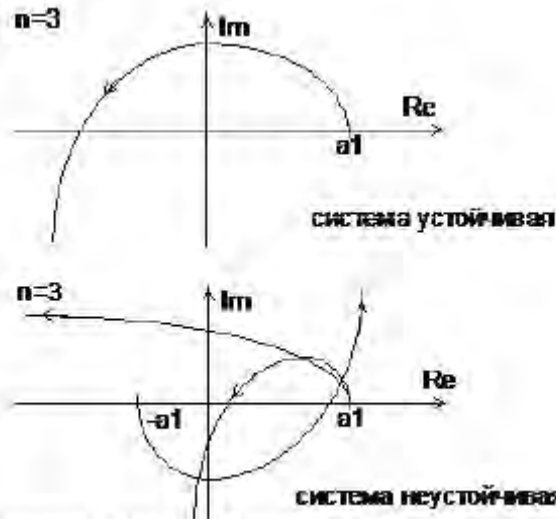


Рис. 4. Годограф Михайлова устойчивой и неустойчивой систем

2.3. Критерий устойчивости Найквиста

Критерий Найквиста позволяет судить об устойчивости замкнутой системы по частотной характеристике разомкнутой системы. Для устойчивости замкнутой системы необходимо и достаточно чтобы амплитудно-фазовая характеристика устойчивой разомкнутой системы при изменении ω от 0 до ∞ не охватывала точку с координатами $\{-1, j0\}$ (рис.5).

Разомкнутая система может быть неустойчива, но это не означает, что неустойчивой будет и замкнутая. В этом случае меняется формулировка критерия Найквиста: для устойчивости замкнутой системы необходимо и достаточно, чтобы амплитудно- фазовая характеристика неустойчивой разомкнутой системы при изменении ω от 0 до ∞ охватывала точку с координатами $\{-1, j0\}$ в положительном направлении $r/2$ раз, где r число корней характеристического уравнения разомкнутой системы с положительной вещественной частью.

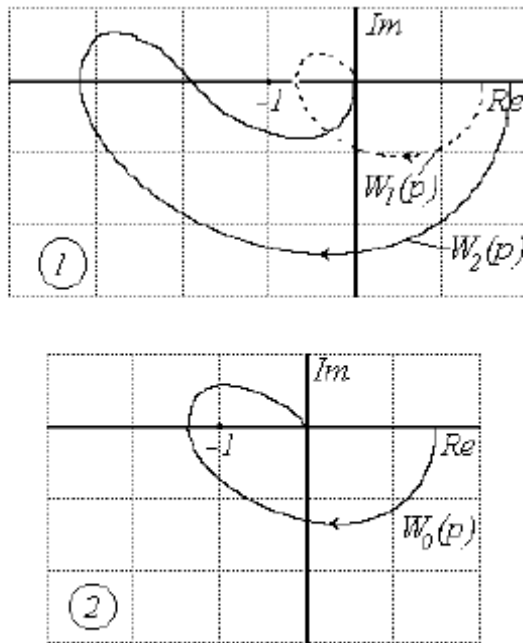


Рис 5. Частотные характеристики, иллюстрирующие критерий Найквиста: 1 - устойчивая система; 2 - неустойчивая система

Для проверки устойчивости замкнутой системы можно использовать логарифмические частотные характеристики разомкнутой, которые строятся почти без вычислений.

Для замкнутой системы необходимо и достаточно, чтобы на частотах, где ЛАЧХ положительна (то есть $L(\omega) > 0$), фазовая частотная характеристика разомкнутой системы не пересекала ось -180° или пересекала ее четное число раз (рис. 6).

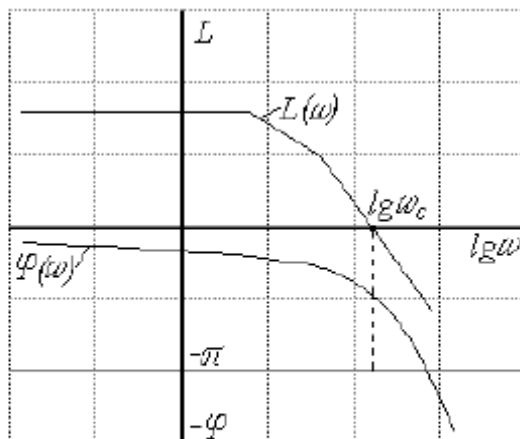


Рис. 6. Логарифмические частотные характеристики, иллюстрирующие критерий Найквиста

Замкнутая система будет находиться на границе устойчивости, если на той же частоте, где $L(\omega) = 0$, фазовая частотная характеристика разомкнутой системы пересекает ось -180° .

3. Методические указания

Работа выполняется с помощью пакета прикладных программ Simulink.

Для экспериментального определения критического значения исследуемого параметра его необходимо изменить в несколько раз по сравнению с исходным и проанализировать полученные переходные процессы. Если при одном параметре система была устойчива, а при другом - неустойчива, то критическое значение находится внутри выделенного интервала, и найти его можно, например, методом половинного деления. Наличие незатухающих колебаний постоянной амплитуды на выходе свидетельствует о положении системы на границе устойчивости.

4. Порядок выполнения работы

4.1. Исследование разомкнутой системы

1. Набрать модель исследуемой разомкнутой системы (рис.1), параметры которой приведены в таблице 1 в соответствии со своим номером варианта.
2. Подавая на вход единичное скачкообразное воздействие, зарисовать переходные процессы в системе при заданных параметрах.

3. Экспериментально определить критическое значение коэффициента передачи kI , т.е. такие значения, при которых система находится на границе устойчивости. Сравнить их с расчетными значениями, найденными с помощью критериев Гурвица и Михайлова.
 4. Построить переходный процесс при $kI = 0.8 kI_{кр}$, исследовать полученную систему с помощью критериев Гурвица и Михайлова, проанализировать результаты.
 5. Увеличить коэффициент $T3$ в два раза по сравнению с исходным значением и определить $kI_{кр}$. Затем уменьшить $T3$ в два раза и найти $kI_{кр}$. Построить зависимость $kI_{кр} = kI_{кр}(T3)$.
 6. Найти экспериментальное критическое значение $T3_{кр}$. Сравнить с $T3_{кр}$, рассчитанным с помощью критерия Гурвица.
 7. Воспользовавшись критерием Михайлова, найти $T1_{кр}$. Определить критические значения $T1_{кр}$ экспериментально и проанализировать результаты.
- 4.2. Исследование замкнутой системы
1. Набрать модель исследуемой замкнутой системы (рис.2), параметры которой приведены в таблице 1 в соответствии со своим номером варианта.
 2. Подавая на вход единичное скачкообразное воздействие, зарисовать переходные процессы в системе при заданных параметрах. На экран графического монитора выводить входной, выходной сигналы и ошибку (ϵ).
 3. Экспериментально определить критическое значение коэффициента передачи kI , т.е. такие значения, при которых система находится на границе устойчивости. Сравнить их с расчетными значениями, найденными с помощью критерия Найквиста.
 4. Построить переходный процесс при $kI = 0.8 kI_{кр}$, исследовать полученную систему с помощью критериев Найквиста, проанализировать результаты.
 5. Увеличить коэффициент $T3$ в два раза по сравнению с исходным значением и определить $kI_{кр}$. Затем уменьшить $T3$ в два раза и найти $kI_{кр}$. Построить зависимость $kI_{кр} = kI_{кр}(T3)$.
 6. Найти экспериментальное критическое значение $T3_{кр}$. Сравнить с $T3_{кр}$, рассчитанным с помощью критерия Найквиста.

Таблица 1

№ варианта	апериодическое		колебательное		
	k_1	T_1	k_2	T_2	T_3
1	1	0,7	4	0,5	2
2	4	0,1	3	0,6	2,4
3	6	0,5	4	0,1	0,4
4	4	0,6	6	0,8	3,2
5	1	0,1	2	0,7	2,8
6	2	0,5	4	0,6	2,4
7	7	0,5	8	0,4	1,6
8	3	0,7	1	0,6	2,4
9	4	0,4	1	0,5	2
10	1	0,6	5	0,8	3,2
11	6	0,4	5	0,7	2,8
12	2	0,5	3	0,6	2,4
13	3	0,1	7	0,3	1,2
14	7	0,5	3	0,1	0,4
15	7	0,1	4	0,1	0,4
16	6	0,6	3	0,8	3,2
17	7	0,3	2	0,1	0,4
18	7	0,7	7	0,4	1,6
19	8	0,1	2	0,3	1,2
20	3	0,5	4	0,8	3,2
21	6	0,7	4	0,2	0,8
22	4	0,4	1	0,6	2,4
23	2	0,8	3	0,4	1,6
24	4	0,2	5	0,7	2,8
25	8	0,5	7	0,2	0,8
26	5	0,1	6	0,7	2,8
27	4	0,1	6	0,2	0,8
28	6	0,2	3	0,3	1,2
29	2	0,1	8	0,4	1,6
30	3	0,5	2	0,2	0,8

5. Содержание отчета

1. Цель работы.
2. Структурная схема исследуемой системы и численные значения параметров.
3. Рассчитанные и экспериментально найденные критические значения параметров.

4. График переходного процесса исследуемой системы при табличных значениях параметров.
5. График переходных процессов при $kI = kI_{кр}$ и $kI = 0.8 kI_{кр}$.
6. График зависимости $kI_{кр} = kI_{кр}(TЗ)$.
6. Контрольные вопросы
 1. Что такое характеристическое уравнение?
 2. Как формулируется основное условие устойчивости линейных систем?
 3. Что такое характеристическое уравнение?
 4. Какой вид имеют корни характеристического уравнения?
 5. Что такое граница устойчивости?
 6. Что такое критерии устойчивости?
 7. Как по АФХ исследуемой разомкнутой системы найти $kI_{кр}$?
 8. Каким образом коэффициент передачи разомкнутой системы влияет на вид годографа Михайлова?
 9. Какой вид имеет переходная характеристика системы, находящейся на колебательной границе устойчивости?
 10. Каковы условия положения системы на границе устойчивости по критериям Гурвица, Михайлова, Найквиста?
 11. В чем достоинства и недостатки алгебраических критериев устойчивости?
 12. Что называется частотными критериями устойчивости САУ?

Лабораторная работа №3

Тема: «Синтез последовательного корректирующего устройства и расчет характеристик скорректированной САУ»

Известно, что наилучшими динамическими показателями обладают САУ, настроенные на так называемый технический (модульный) оптимум (ТО). В этом случае перерегулирование не превышает 5%, а время переходного процесса минимально.

Передаточная функция разомкнутой цепи одноконтурной САУ, настроенной на ТО, описывается выражением.

$$W_{ТО}(p) = \frac{1}{2T_{\mu}p(T_{\mu}p + 1)}, \quad (1.1)$$

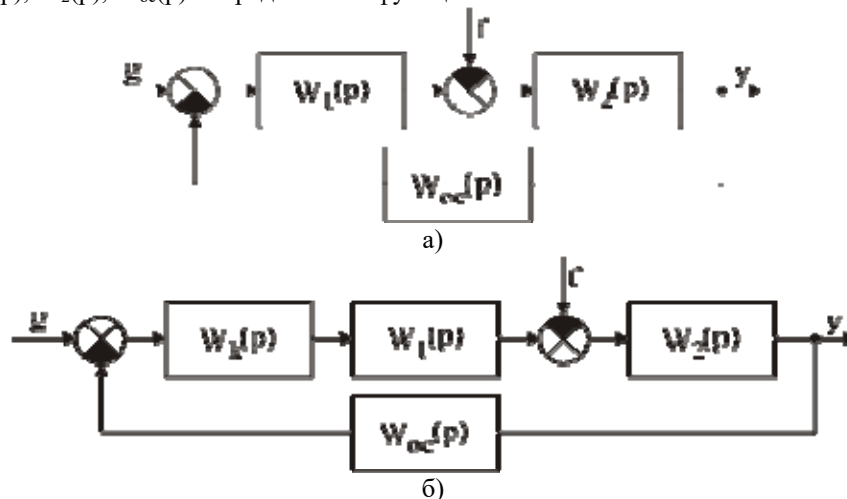
где T_{μ} - эквивалентная некомпенсируемая постоянная времени.

Если в качестве T_{μ} выбрать минимальную постоянную времени, присутствующую в САУ, то при точной настройке на ТО будет обеспечено минимальное время переходного процесса $t_{мин} = 4T_{\mu}$ при минимальном перерегулировании.

При настройке САУ на ТО необходимо проделать следующие действия:

- в структурную схему исходной САУ между точками приложения задающего и возмущающего воздействий ввести корректирующее устройство с неизвестной передаточной функцией $W_k(p)$;
- преобразовать полученную структуру в структурную схему САУ с единичной обратной связью и получить для нее передаточную функцию разомкнутой цепи
- полученную передаточную функцию приравнять к передаточной функции САУ, настроенной на ТО (см. выражение (1.1)), и определить из этого уравнения передаточную функцию корректирующего устройства;
- представить корректирующее устройство в виде комбинации стандартных регуляторов;
- вывести передаточные функции разомкнутой и замкнутой скорректированной САУ и рассчитать ее переходную характеристику по задающему воздействию.

Продemonстрируем реализацию этих действий. Пусть исходная САУ имеет структуру, приведенную на рис. 1.2, а, где $W_1(p)$, $W_2(p)$, $W_{oc}(p)$ - передаточные функции звеньев САУ.



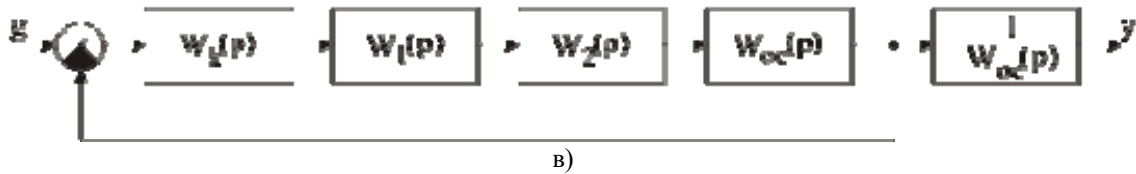


Рис. 1.2.

Введем в исходную структуру последовательное корректирующее устройство (регулятор) с неизвестной пока передаточной функцией $W_k(p)$ (рис. 1.2, б) и преобразуем полученную схему в структуру с единичной обратной связью, используя правила преобразования структурных схем (рис. 1.2, в). Тогда для скорректированной САУ передаточная функция разомкнутой цепи будет равна

$$W_{pc}(p) = W_k(p) \cdot W_1(p) \cdot W_2(p) \cdot W_{oc}(p).$$

Приравнявая полученную передаточную функцию к передаточной функции САУ, настроенной на ТО по формуле (1.1), получим

$$\frac{1}{2T_{\mu}p(T_{\mu}p + 1)} = W_k(p) \cdot W_1(p) \cdot W_2(p) \cdot W_{oc}(p).$$

$$\text{Отсюда } W_k(p) = \frac{1}{2T_{\mu}p(T_{\mu}p + 1) \cdot W_1(p) \cdot W_2(p) \cdot W_{oc}(p)}.$$

Полученное корректирующее устройство должно быть стандартным регулятором или быть комбинацией стандартных регуляторов. Как правило, такие устройства реализуются на пассивных четырехполюсниках или на операционных усилителях. Наиболее часто употребляемые регуляторы и их передаточные функции приведены в табл. 1.1.

Схемная реализация большинства этих звеньев на операционных усилителях рассматривалась в разделах, посвященных лабораторному циклу.

Если настройка на ТО проведена идеально, то передаточная функция замкнутой САУ по задающему воздействию имеет вид

$$W_{zg}(p) = \frac{1}{1 + 2T_{\mu}p(T_{\mu}p + 1)} \cdot \frac{1}{W_{oc}(p)}. \quad (1.2)$$

и ее характеристики соответствуют характеристикам колебательного звена с коэффициентом демпфирования $\xi = 0,707$ (если в цепи обратной связи установлено безынерционное звено).

Не идеальная настройка на ТО обусловлена наличием в цепи обратной связи какого-либо другого звена, отличного от усилительного и трудностями, возникающими при выборе типового регулятора. Поэтому после синтеза корректирующего устройства необходимо осуществлять проверку точности настройки путем анализа характеристик скорректированной САУ.

Таблица 1.1.

N	Тип регулятора	Передаточная функция	Примечание
1	Пропорциональный (П – регулятор)	k_p	
2	Дифференциальный (Д – регулятор)	$k_d \cdot p$	
3	Интегральный (И – регулятор)	$\frac{k_i}{p}$	
4	Пропорционально-дифференциальный (ПД – регулятор)	$k_{пд} \cdot (T_{пд}p + 1)$	
5	Пропорционально-интегральный (ПИ – регулятор)	$k_{пи} \cdot \frac{T_{пи}p + 1}{T_{пи}p}$	
6	Пропорционально-интегро-дифференциальный (ПИД – регулятор)	$k_{пид} \cdot \frac{(T_1p + 1)(T_2p + 1)}{p(T_0p + 1)}$	$T_2 < T_1$, $T_0 \leq 0,1 \cdot T_2$, иногда $T_0 = 0$
7	Фильтр	$\frac{(T_{1ф}p + 1)}{T_{2ф}p + 1}$	$T_{1ф}p$ может равняться нулю

8. Исходя из заданного времени переходного процесса $t_{\text{ин}}$, провести синтез последовательного корректирующего устройства и рассчитать переходную характеристику скорректированной САУ по задающему воздействию. Определить показатели качества регулирования для этой САУ и сравнить их с ранее рассчитанными.

Таблица 1.2 – Исходные данные

Вариант	Передаточные функции и их параметры	Дополнительные условия
1	$W_1(p) = \frac{k_1}{T_1 p + 1}; \quad W_2(p) = \frac{k_2}{T_2 p + 1};$ $W_3(p) = \frac{k_3}{T_3 p + 1}; \quad W_{\text{oc}}(p) = k_{\text{oc}}$ $k_1 = 15; \quad k_2 = 2; \quad k_3 = 3; \quad k_{\text{oc}} = 0,9;$ $T_1 = 2,5\text{с}; \quad T_2 = 0,05\text{с}; \quad T_3 = 0,1\text{с}.$	Зад. возд. $g = 10\text{В}$ Возм. возд. $f = 10\text{В}$ Запас устойчив. $\Delta G = 5 \text{ дБ}$ Варьируемые параметры $x_1 = T_1; \quad x_2 = k_1$ Время перех. процесса $t_{\text{ин}} = 0,25 \text{ с}$
2	$W_1(p) = k_1; \quad W_2(p) = \frac{k_2}{T_2 p + 1};$ $W_3(p) = \frac{k_3}{p}; \quad W_{\text{oc}}(p) = \frac{k_{\text{oc}}}{T_{\text{oc}} p + 1}$ $k_1 = 12; \quad k_2 = 5; \quad k_3 = 3\text{с}^{-1}; \quad k_{\text{oc}} = 0,5;$ $T_2 = 0,6\text{с}; \quad T_{\text{oc}} = 0,6\text{с}.$	Зад. возд. $g = 5\text{В}$ Возм. возд. $f = 10\text{В}$ Запас устойчив. $\Delta G = 8 \text{ дБ}$ Варьируемые параметры $x_1 = T_2; \quad x_2 = k_2$ Время перех. процесса $t_{\text{ин}} = 0,15 \text{ с}$
3	$W_1(p) = \tau_1 p + 1; \quad W_2(p) = \frac{k_2}{T_2 p + 1};$ $W_3(p) = \frac{k_3}{T_3 p + 1}; \quad W_{\text{oc}}(p) = \frac{k_{\text{oc}}}{T_{\text{oc}} p + 1}$ $k_1 = 12; \quad k_2 = 5; \quad k_3 = 3\text{с}^{-1}; \quad k_{\text{oc}} = 0,5;$ $\tau_1 = 0,002\text{с}; \quad T_2 = 0,7\text{с}; \quad T_3 = 0,04\text{с}, \quad T_{\text{oc}} = 0,015\text{с}.$	Зад. возд. $g = 20\text{В}$ Возм. возд. $f = 10\text{В}$ Запас устойчив. $\Delta G = 5 \text{ дБ}$ Варьируемые параметры $x_1 = T_2; \quad x_2 = k_2$ Время перех. процесса $t_{\text{ин}} = 0,15 \text{ с}$
4	$W_1(p) = \frac{k_1}{T_1 p + 1}; \quad W_2(p) = \tau_2 p + 1;$ $W_3(p) = \frac{k_3}{T_3 p + 1}; \quad W_{\text{oc}}(p) = \frac{k_{\text{oc}}}{T_{\text{oc}} p + 1}$ $k_1 = 50; \quad k_3 = 5; \quad k_{\text{oc}} = 0,2;$ $T_1 = 0,1\text{с}, \quad \tau_2 = 0,01\text{с}, \quad T_3 = 0,9\text{с}, \quad T_{\text{oc}} = 0,03\text{с}.$	Зад. возд. $g = 5\text{В}$ Возм. возд. $f = 10\text{В}$ Запас устойчив. $\Delta G = 8\text{дБ}$ Варьируемые параметры $x_1 = T_1; \quad x_2 = k_1$ Время перех. процесса $t_{\text{ин}} = 0,2 \text{ с}$
5	$W_1(p) = \frac{k_1}{T_1 p + 1}; \quad W_2(p) = \tau_2 p + 1;$ $W_3(p) = \frac{k_3}{T_3 p + 1}; \quad W_{\text{oc}}(p) = \frac{k_{\text{oc}}}{T_{\text{oc}} p + 1}$ $k_1 = 10; \quad k_3 = 2; \quad k_{\text{oc}} = 1;$ $T_1 = 1\text{с}, \quad \tau_2 = 0,005\text{с}, \quad T_3 = 0,4\text{с}, \quad T_{\text{oc}} = 0,03\text{с}.$	Зад. возд. $g = 10\text{В}$ Возм. возд. $f = 10\text{В}$ Запас устойчив. $\Delta G = 5\text{дБ}$ Варьируемые параметры $x_1 = \tau_2; \quad x_2 = k_{\text{oc}}$ Время перех. процесса $t_{\text{ин}} = 0,28 \text{ с}$
6	$W_1(p) = \frac{k_1}{p}; \quad W_2(p) = \frac{k_2}{T_2 p + 1};$ $W_3(p) = \frac{k_3}{T_3 p + 1}; \quad W_{\text{oc}}(p) = k_{\text{oc}}$ $k_1 = 10\text{с}^{-1}; \quad k_2 = 4; \quad k_3 = 5; \quad k_{\text{oc}} = 1;$ $T_2 = 0,2\text{с}; \quad T_3 = 0,02\text{с}.$	Зад. возд. $g = 20\text{В}$ Возм. возд. $f = 20\text{В}$ Запас устойчив. $\Delta G = 6 \text{ дБ}$ Варьируемые параметры $x_1 = T_2; \quad x_2 = k_2$ Время перех. процесса $t_{\text{ин}} = 0,28 \text{ с}$
7	$W_1(p) = \frac{k_1}{T_1 p + 1}; \quad W_2(p) = \tau_2 p + 1;$	Зад. возд. $g = 20\text{В}$ Возм. возд. $f = 10\text{В}$ Запас устойчив. $\Delta G = 5\text{дБ}$ Варьируемые параметры

	$W_3(p) = \frac{k_3}{p}; \quad W_{oc}(p) = \frac{k_{oc}}{T_{oc}p + 1}$ $k_1 = 4; \quad k_3 = 2c^{-1}; \quad k_{oc} = 2;$ $T_1 = 0,02c, \quad \tau_2 = 0,005c, \quad T_{oc} = 0,06c.$	$x_1 = \tau_2; \quad x_2 = k_1$ Время перех. процесса $t_{min} = 0,195 \text{ с}$
8	$W_1(p) = \frac{k_1}{T_1p + 1}; \quad W_2(p) = \frac{k_2}{T_2p + 1};$ $W_3(p) = \frac{k_3}{p}; \quad W_{oc}(p) = k_{oc}$ $k_1 = 5; \quad k_2 = 5; \quad k_3 = 2c^{-1}; \quad k_{oc} = 1;$ $T_1 = 0,3c; \quad T_2 = 0,03c;$	Зад. возд. $g = 10B$ Возм. возд. $f = 10B$ Запас устойч. $\Delta G = 8 \text{ дБ}$ Варьируемые параметры $x_1 = T_1; \quad x_2 = k_1$ Время перех. процесса $t_{min} = 0,68 \text{ с}$
9	$W_1(p) = \frac{k_1}{T_1p + 1}; \quad W_2(p) = \frac{k_2}{T_2p + 1};$ $W_3(p) = \frac{k_3}{T_3p + 1}; \quad W_{oc}(p) = \tau_{oc}p + 1$ $k_1 = 6; \quad k_2 = 3; \quad k_3 = 3;$ $T_1 = 0,5c, \quad T_2 = 0,1c, \quad T_3 = 0,05c, \quad \tau_{oc} = 0,01c.$	Зад. возд. $g = 30B$ Возм. возд. $f = 10B$ Запас устойч. $\Delta G = 10 \text{ дБ}$ Варьируемые параметры $x_1 = \tau_{oc}; \quad x_2 = k_2$ Время перех. процесса $t_{min} = 0,16 \text{ с}$

Критерии оценки отчета о выполнении лабораторной работы:

Компетенции	Характеристика ответа на теоретический вопрос / выполнения практического задания	Количество набранных баллов
ПК-3, ПК-4, ПК-6, ПК-7	<p><i>Получен допуск к выполнению лабораторной работы</i> подразумевающий, что теоретический материал, изложен в объеме, необходимом для выполнения лабораторной работы; сформулированы цели и задачи, требующие решения в ходе выполнения лабораторной работы; приведены необходимые схемы, формулы и соотношения, решены предложенные задачи; обозначена последовательность выполнения лабораторной работы. <i>Лабораторная работа выполнена в полном объеме</i>, самостоятельно, с соблюдением необходимой последовательности проведения опытов и измерений, все опыты проведены в условиях и режимах, обеспечивающих получение правильных результатов и выводов, соблюдены требования правил техники безопасности, продемонстрировано умение читать и собирать электрические схемы со знанием символики, понимания терминологии. <i>На дату защиты предоставлен отчет</i> по результатам лабораторной работы, оформленный в соответствии с требованиями ГОСТ единой системы конструкторской документации (ЕСКД), полностью отображающий проведенные исследования. В ходе защиты продемонстрировано знание основных законов и методов анализа процессов, протекающих в исследуемой области, логично и грамотно изложены умозаключения и выводы.</p>	18-20, «отлично»
	<p><i>Получен допуск к выполнению лабораторной работы. Лабораторная работа выполнена в полном объеме</i>, с соблюдением необходимой последовательности проведения опытов и измерений, все опыты проведены в условиях и режимах, обеспечивающих получение правильных результатов и выводов, соблюдены требования правил техники безопасности, продемонстрировано умение читать и собирать электрические схемы. В процессе выполнения лабораторной работы студент обращался за помощью к преподавателю. <i>На дату защиты (или в срок не позднее 3 дней от даты защиты) предоставлен отчет</i> по результатам лабораторной работы, оформленный в соответствии с требованиями ГОСТ единой системы конструкторской документации (ЕСКД), полностью отображающий проведенные исследования. В ходе защиты продемонстрировано знание основных законов и методов анализа процессов, протекающих в исследуемой области. При ответах допущены неточности, корректируемые студентом с подсказки преподавателя.</p>	15-17, «хорошо»
	<p><i>Получен допуск к выполнению лабораторной работы. Лабораторная работа выполнена в полном объеме</i>, с соблюдением необходимой последовательности</p>	10-14, «удовлетвори-

	<p>проведения опытов и измерений, соблюдены требования правил техники безопасности. В процессе выполнения лабораторной работы студент обращался за помощью к преподавателю. <i>Отчет по результатам лабораторной работы</i>, оформленный в соответствии с требованиями ГОСТ единой системы конструкторской документации (ЕСКД), полностью отображающий проведенные исследования, предоставлен не в срок. В ходе защиты продемонстрировано знание основных законов и методов анализа процессов, протекающих в исследуемой области. При ответах допущены ошибки, корректируемые студентом с подсказки преподавателя.</p>	<p>тельно»</p>
	<p>При получении допуска к выполнению лабораторной работы ответы выявили незнание студентом определений основных понятий, законов, правил, основных положений теории, формул, незнание приемов решения задач, аналогичных ранее решенным на практических занятиях, т.е. уровень знаний не позволяет ему провести опыт, необходимые расчеты, или использовать полученные данные для формулировки выводов. Дополнительные и уточняющие вопросы преподавателя не приводят к коррекции ответа студента. <i>или</i> Ответ на вопрос полностью отсутствует <i>или</i> Отказ от ответа</p>	<p>менее 10, «неудовлетворительно»</p>

6. Вопросы к самоконтролю:

1. Модель усилительного (безинерционного) звена.
2. Модель идеального дифференцирующего звена.
3. Модель идеального интегрирующего звена.
4. Модель апериодического звена первого порядка.
5. Модель колебательного звена при $0 < \zeta < 1$.
6. Модель апериодического звена второго порядка при $\zeta > 1$.
7. Модель консервативного звена при $\zeta = 0$.
8. Модель форсирующего звена первого порядка.
9. Модель форсирующего звена второго порядка.
10. Исследование характеристик типовых динамических звеньев САУ
11. Исследование статических и астатических САУ
12. Исследование устойчивости САУ
13. Коррекция САУ

8. Учебно-методическое и информационное обеспечение дисциплины (модуля)

8.1. Перечень основной и дополнительной учебной литературы, необходимой для освоения дисциплины (модуля)

№	Автор, название, место издания, издательство, год издания учебной литературы, вид и характеристика иных информационных ресурсов	Наличие грифа, вид грифа	Кол-во экземпляров в библиотеке ТИ (Ф) СВФУ
<i>Основная</i>			
1	Черных И.В. Моделирование электротехнических устройств в SIMULINK. SimPowerSystems и Simulink [Электронный ресурс]/ Черных И.В.— Электрон. текстовые данные.- Саратов: Профобразование, 2017.- 288 с.		http://www.iprbookshop.ru/63804.html ЭБС «IPRbooks»
<i>Методические разработки вуза</i>			
2	Антоненков Д.В., Основы моделирования элементов систем автоматики в SIMULINK + SIMULINK: Учебное пособие. – Нерюнгри: Издательство ТИ(Ф) СВФУ, 2010. – 125 с.		45
<i>Дополнительная</i>			
1	Общепромышленные руководящие методические материалы по созданию систем автоматизированного проектирования (САПР). Редакция 1-78,—М., ГКНТ, 1978.—45с.		
2	Чикуров Н.Г. Моделирование систем и процессов.		

			G-72-b01ER (1 шт.), ноутбук (1 шт.), Asus x501u-xx062d (1 шт.), подвесной потолочный штатив Shekia УПК-1 для мультимедиа-проектора (1 шт.), доска аудиторная (1 шт.), комплект учебной мебели (19 шт.), стол (19 шт.), стул (38 шт.), свитч 3com Super Stack (1 шт.).
--	--	--	---

10. Перечень информационных технологий, используемых при осуществлении образовательного процесса по дисциплине, включая перечень программного обеспечения и информационных справочных систем

10.1. Перечень информационных технологий, используемых при осуществлении образовательного процесса по дисциплине

При осуществлении образовательного процесса по дисциплине используются следующие информационные технологии:

- использование на занятиях электронных изданий (чтение лекций с использованием слайд-презентаций, электронного учебного пособия), видео- и аудиоматериалов (через Интернет);
- организация взаимодействия с обучающимися посредством электронной почты и СДО Moodle.

10.2. Перечень программного обеспечения

-MSWORD, MSPowerPoint, AutoCad, Excel, Visio, ZOOM.

10.3. Перечень информационных справочных систем

<http://www.mining-enc.ru/>