

Документ подписан простой электронной подписью
Информация о владельце:
ФИО: Ребковец Ольга Александровна
Должность: И.о. ректора
Дата подписания: 09.11.2025 21:29:14
Уникальный программный ключ:
e789ec8739030382afc5ebff702928ad1af5cfb

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования
«Камчатский государственный университет имени Витуса Беринга»

РАБОЧАЯ ПРОГРАММА УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЫ (КУРСА, МОДУЛЯ)

Б1.В.01 «Теория автоматического регулирования»

Направление подготовки: 13.04.02 Электроэнергетика и электротехника

Профиль подготовки: «Геотермальная энергетика»

Квалификация выпускника: магистр

Форма обучения: очная

Курс 1 **Модуль** 3

Экзамен: 3 модуль

Петропавловск-Камчатский 2025 г.

Рабочая программа составлена с учетом требований федерального государственного образовательного стандарта высшего образования по направлению подготовки 13.04.02 Электроэнергетика и электротехника, утвержденного приказом Министерства образования и науки Российской Федерации от 28.02.2018 № 147.

Перечень планируемых результатов обучения по дисциплине (модулю), соотнесенных с планируемыми результатами освоения ОПОП ВО

Обучающийся, освоивший дисциплину (модуль), должен обладать следующими компетенциями:

| Шифр компетенции | Расшифровка приобретаемой компетенции |
|-------------------------|---|
| УК-1 | УК-1.1. Анализирует проблемную ситуацию и осуществляет её декомпозицию на отдельные задачи. |
| УК-1 | УК-1.2. Вырабатывает стратегию решения поставленной задачи |
| УК-1 | УК-1.3. Формирует возможные варианты решения задач |
| ПК-2.В/ПР | ПК-2.В/ПР.2. Выполняет физические или математические эксперименты |
| ПК-4.В/ПР | ПК-4.В/ПР.3. Применяет методы анализа вариантов, разработки и поиска компромиссных решений с оценкой эффективности реализации проекта |

Содержание дисциплины (модуля), структурированное по темам (разделам) с указанием отведенного на них количества академических часов и видов учебных занятий

| N | Разделы дисциплины / модуля | Виды и часы контактной работы, их трудоемкость (в часах) | | | Самостоятельная работа |
|----------|---|---|--|----------------------------|-------------------------------|
| | | Лекции | | Лабораторные работы | |
| 1. | Тема 1. Основные понятия автоматического управления | 4 | | 2 | 6 |
| 2. | Тема 2. Математическое описание линейных непрерывных объектов и систем управления | 4 | | 2 | 6 |
| 3. | Тема 3. Устойчивость линейных непрерывных систем автоматического регулирования | 4 | | 2 | 6 |
| 4. | Тема 4. Качество линейных непрерывных систем автоматического регулирования | 4 | | 2 | 6 |
| 5. | Тема 5. Синтез линейных непрерывных систем автоматического регулирования | 4 | | 2 | 6 |
| 6. | Тема 6. Импульсные линейные системы автоматического регулирования | 4 | | 2 | 6 |
| 7. | Тема 7. Нелинейные системы автоматического управления | 4 | | 2 | 6 |

| | | | | | |
|----|--|---|--|---|---|
| 8. | Тема 8. Оптимальные системы автоматического управления | 4 | | 2 | 6 |
| 9. | Тема 9. Робастные и адаптивные системы | 4 | | 2 | 6 |

Содержание дисциплины (модуля)

Тема 1. Основные понятия автоматического управления

Автоматизация и механизация производства. Управление, объект управления, управляемые величины, управляющие и возмущающие воздействия.

Автоматическое управление, автоматическое управляющее устройство, система автоматического управления. Разомкнутые и замкнутые системы управления.

Понятие обратной связи. Подсистемы автоматического регулирования.

Автоматический регулятор. Основные функциональные элементы регулятора и алгоритм его функционирования. Способы реализации алгоритмов регулирования.

Аналоговые и цифровые регуляторы. Классификация АСР (непрерывные, дискретные, линейные, нелинейные, оптимальные, адаптивные и т.д.).

Автоматизированные системы управления современными технологическими процессами, их структура, виды обеспечения. Примеры реальных систем автоматического управления и регулирования.

Тема 2. Математическое описание линейных непрерывных объектов и систем управления

Математическое описание линейных непрерывных систем автоматического управления.

Линейные непрерывные модели и характеристики систем управления. Модели вход-выход: дифференциальные уравнения, передаточные функции, временные и частотные характеристики. Модели вход-состояние-выход. Преобразования форм представления моделей.

Тема 3. Устойчивость линейных непрерывных систем автоматического регулирования

Проблема устойчивости САР.

Понятие устойчивости систем автоматического регулирования (САР). Устойчивость линейных непрерывных САР. Определение устойчивости по передаточной матрице системы. Причины появления неустойчивости линейных непрерывных САР. Влияние коэффициента передачи на устойчивость системы.

Критерии устойчивости линейных непрерывных САР. Необходимое условие устойчивости Стодолы. Необходимые и достаточные условия устойчивости САР. Алгебраические критерии устойчивости. Критерий Стодолы. Критерий Рауса - Гурвица. Частотный критерий устойчивости Михайлова. Свойства АФЧХ разомкнутых систем. Частотный критерий устойчивости Найквиста. Запасы устойчивости. Интерпретация критерия Найквиста с помощью логарифмических частотных характеристик. Запасы устойчивости линейных систем по АФЧХ и ЛЧХ разомкнутых систем. Применение критерия Найквиста для систем с запаздыванием. Критерий Найквиста для систем, неустойчивых в разомкнутом состоянии.

Тема 4. Качество линейных непрерывных систем автоматического регулирования

Определение статической ошибки по задающему и возмущающему воздействиям. Качество САР в стационарных динамических режимах (при воздействиях, изменяющихся с постоянной производной). Способы снижения и устранения ошибки при воздействиях, изменяющихся с постоянной производной.

Качество линейных непрерывных САР в стационарных режимах при случайных воздействиях. Случайные величины и случайные процессы. Законы распределения случайных величин и их параметры.

Характеристики случайных процессов: корреляционная функция и спектральная

плотность. Определение точности линейной САР при стационарных случайных воздействиях. Точность линейных систем при наличии двух случайных стационарных воздействий. Пример определения точности САР при стационарных случайных воздействиях.

Качество переходных процессов в линейных непрерывных САР. Прямые показатели качества переходных процессов САР. Влияние коэффициента усиления на прямые показатели качества.

Частотные критерии качества переходных процессов. Определение показателей качества переходных процессов по частотным характеристикам замкнутой системы. Частотный показатель колебательности. Определение показателей качества переходных процессов по ВЧХ и МЧХ замкнутой системы. Определение показателей качества переходных процессов по частотным характеристикам разомкнутой системы. Корневые критерии качества переходных процессов: степень устойчивости, степень (показатель) колебательности. Определение корневого показателя колебательности и его использование для синтеза САР.

Тема 5. Синтез линейных непрерывных систем автоматического регулирования

Постановка задачи синтеза регуляторов и корректирующих устройств одномерных линейных непрерывных САР. Общие подходы структурно-параметрического синтеза регуляторов в классе одномерных линейных непрерывных систем.

Построение эталонных передаточных функций замкнутой системы. Построение эталонной передаточной функции системы в классе низкочастотных фильтров Баттерворта. Построение эталонной передаточной функции системы методами стандартных коэффициентов.

Общетеоретические методы синтеза регуляторов в классе одномерных линейных непрерывных систем. Применение принципа динамической компенсации для синтеза линейной САР. Расчет регулятора с помощью уравнений синтеза. Применение обратных связей по производным выходного сигнала для синтеза линейной САР. Модальное управление. Применение стационарного наблюдателя.

Практические методы синтеза линейных непрерывных САР.

Влияние местных обратных связей на свойства типичных объектов. Последовательные корректирующие устройства - регуляторы. Типовые законы регулирования.

Пропорциональный и интегральный регуляторы и их характеристики. ПД-регулятор и его характеристики. ПИД-регулятор и его характеристики. Расчет регуляторов на заданный частотный показатель колебательности. Расчет регуляторов методом расширенных

амплитудно-частотных характеристик. Синтез последовательных корректирующих устройств с помощью ЛАЧХ. Связь ЛАЧХ минимально фазовой разомкнутой системы с показателями качества замкнутой. Построение эталонной ЛАЧХ разомкнутой системы. Определение и упрощение передаточной функции корректирующего устройства.

Пример решения задачи синтеза. Многоконтурные, комбинированные и многосвязные линейные непрерывные САР и их синтез. Преимущества многоконтурных САР.

Особенности расчета регуляторов и корректирующих устройств многоконтурных систем автоматического регулирования.

Расчет устройств компенсации возмущений в комбинированных системах. Условия инвариантности системы по отношению к возмущению. Практическая реализация теоретически рассчитанных устройств компенсации.

Многосвязные линейные непрерывные САР: методы синтеза. Несвязное регулирование. Принцип автономности. Пример расчета двусвязной системы.

Синтез линейных стохастических систем при стационарных случайных воздействиях.

Тема 6. Импульсные линейные системы автоматического регулирования

Классификация дискретных систем управления. Импульсные системы. Виды

импульсной модуляции. Математическое описание импульсных систем. Применение непрерывной модели для системы с ШИМ-модуляцией. Математическое описание импульсных систем. Линейные дискретные модели систем управления. Разностные уравнения, дискретное преобразование Лапласа, Z-преобразование. Этапы построения мат. модели линейной системы с амплитудно-импульсной модуляцией. Передаточные функции импульсной системы в форме Z-преобразования. Частотные свойства импульсных сигналов и устройств. Устойчивость импульсных систем. Применение теории импульсных систем к цифровым системам. Дискретное представление типовых законов регулирования. Синтез импульсных и цифровых систем управления.

Тема 7. Нелинейные системы автоматического управления

Определение и особенности нелинейных систем автоматического управления. Определение нелинейных САУ. Виды нелинейностей. Существенные и несущественные нелинейности. Линеаризация нелинейных моделей "в малом".

Статические режимы нелинейных систем. Последовательное, параллельное и соединение в виде ОС статических нелинейностей. Ограничение сигналов в системах автоматического регулирования. Организация и моделирование ограничений. Особенности стационарных режимов нелинейных систем при случайных воздействиях. Исследование стационарных режимов нелинейных систем при случайных воздействиях методом статистической линеаризации.

Устойчивость нелинейных систем автоматического регулирования. Особенности проблемы устойчивости для нелинейных САУ. Методы А.М. Ляпунова определения устойчивости. Критерий абсолютной устойчивости нелинейных систем В.М. Попова. Применение критерия абсолютной устойчивости В.М. Попова к системам с неустойчивой или нейтральной линейной частью. Гармоническая линеаризация статических нелинейностей. Анализ периодических режимов в нелинейных системах методом гармонического баланса.

Релейные системы автоматического регулирования. Особенности динамики релейных систем автоматического регулирования. Процесс регулирования в релейной системе со статической линейной частью. Процесс регулирования в релейной системе с астатической (первого порядка) линейной частью. Процесс регулирования в релейной системе с астатической (второго порядка) линейной частью. Исследование колебательных режимов в релейных системах методом гармонического баланса. Скользящие режимы в релейных системах.

Тема 8. Оптимальные системы автоматического управления

Оптимальные системы автоматического управления

Постановка задачи оптимального управления. Классификация задач оптимизации динамических режимов САУ. Решение задач оптимального управления методами классического вариационного исчисления. Уравнение Эйлера. Решение задачи оптимального управления с учетом ограничений. Уравнения Эйлера-Лагранжа. Задача с закрепленными концами и фиксированным временем. Задача с подвижными концами и фиксированным временем. Задача с подвижными концами и нефиксированным временем.

Принцип максимума Понтрягина.

Формулировка принципа максимума. Линейная задача максимального быстродействия. Теорема об

n-интервалах. Пример решения задачи на максимальное быстродействие с помощью принципа максимума. Определение решения в виде оптимальной программы и оптимальной стратегии.

Метод динамического программирования Беллмана.

Оптимизация дискретных многошаговых процессов принятия решений. Принцип оптимальности Беллмана. Задача о замене оборудования. Метод динамического программирования для непрерывных систем. Задача об аналитическом

конструировании регуляторов.

Тема 9. Робастные и адаптивные системы

Общие понятия теории робастных систем. Принципы построения и классификация адаптивных систем. Грубость свойств систем управления. Обеспечение робастности нелинейных систем методами неадаптивного управления. Обеспечение робастности нелинейных систем методами адаптивного управления. Адаптивное и робастное управление линейными и нелинейными объектами с неопределенностями и компенсацией возмущений.

Перечень литературы, необходимой для освоения дисциплины (модуля)

Основная литература:

1. Борисевич, А. В. Теория автоматического управления: элементарное введение с применением MATLAB [Электронный ресурс] / А. В. Борисевич. - М.: Инфра-М, 2014. - 200 с. URL.: <http://znanium.com/bookread2.php?book=470329>
2. Коновалов Б.И., Лебедев Ю.М. Теория автоматического управления: Учебное пособие. - 3-е изд., испр. -СПб.: Изд-во 'Лань', 2016. -224 с. URL: <https://e.lanbook.com/reader/book/71753/>
3. Первозванский А.А. Курс теории автоматического управления: Учебное пособие. - 3-е изд., испр. -СПб.: Издательство 'Лань', 2015. -624 с. - URL:<https://e.lanbook.com/reader/book/68460/>

Дополнительная литература:

1. Гайдук А. Р., Беляев В. Е., Пьявченко Т. А. Теория автоматического управления в примерах и задачах с решениями в MATLAB: Учебное пособие. - 2-е изд., испр. -СПб.: Издательство 'Лань', 2011. - 464 с. -URL: <http://e.lanbook.com/view/book/2033/>
2. Панкратов В.В. Избранные разделы современной теории автоматического управления/Панкратов В.В., Нос О.В., ЗимаЕ.А. - Новосиб.: НГТУ, 2011. - 223 с. <http://znanium.com/bookread2.php?book=548433>
3. Никулин Е.А. Основы теории автоматического управления. Частотные методы анализа и синтеза систем: Учебное пособие / Никулин Е.А. - СПб:БХВ-Петербург, 2015. - 632 с. <http://znanium.com/bookread2.php?book=939825>

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

Курс Лекций. Теория автоматического управления - <http://toehelp.ru/theory/tau/contents.html> образовательный проект А.Н.Варгина - <http://www.vargin.spb.ru/>
Российское образование - Федеральный портал - <http://www.edu.ru>
Сайт, посвященный вопросам естествознания - <http://www.naturalscience.ru> Сетевая энциклопедия "Кругосвет" - <http://www.krugosvet.ru>

Методические указания для обучающихся по освоению дисциплины (модуля)

| Вид работ | Методические рекомендации |
|-----------|---------------------------|
|-----------|---------------------------|

| | |
|------------------------|---|
| лекции | Лекционные занятия проводятся с использованием интерактивных технологий и предполагают активное участие студентов. Для подготовки к занятиям рекомендуется выделять в материале проблемные вопросы, затрагиваемые преподавателем в лекции, и группировать информацию вокруг них. Желательно выделять в используемой литературе постановки вопросов, на которые разными авторам могут быть даны различные ответы. На основании постановки таких вопросов следует собирать аргументы в пользу различных вариантов решения поставленных проблем. |
| лабораторные работы | Лабораторные занятия - это одна из разновидностей практического занятия, являющаяся эффективной формой учебных занятий в организации высшего образования. Лабораторные занятия имеют выраженную специфику в зависимости от учебной дисциплины, углубляют и закрепляют теоретические знания. На этих занятиях студенты осваивают конкретные методы изучения дисциплины, обучаются экспериментальным способам анализа, умению работать с приборами и современным оборудованием. Лабораторные занятия дают наглядное представление об изучаемых явлениях и процессах, студенты осваивают постановку и ведение эксперимента, учатся умению наблюдать, оценивать полученные результаты, делать выводы и обобщения. |
| самостоятельная работа | Самостоятельная работа студентов по дидактической сути представляет собой комплекс условий обучения, организуемых преподавателем и направленных на самоподготовку учащихся. Учебная деятельность протекает без непосредственного участия преподавателя и заключается в проработке лекционного материала, подготовке к устному опросу и тестированию, к лабораторным занятиям; изучении учебной литературы из основного и дополнительного списка |
| экзамен | Экзамен является формой итоговой оценки качества освоения студентом образовательной программы по дисциплине в целом или по разделу дисциплины. По результатам экзамена студенту выставляется оценка "отлично", "хорошо", "удовлетворительно" или "неудовлетворительно". Экзамен может проводиться в форме устного опроса по билетам или без билетов, с предварительной подготовкой или без подготовки, по усмотрению кафедры. Экзаменатор может проставить зачет без опроса или собеседования тем студентам, которые активно участвовали на практических занятиях. |

Освоение дисциплины (модуля) предполагает использование следующего программного обеспечения и информационно-справочных систем:

Операционная система Microsoft Windows 7 Профессиональная или Windows XP (Volume License)

Пакет офисного программного обеспечения Microsoft Office 365 или Microsoft Office Professional plus 2010 Браузер Mozilla Firefox

Браузер Google Chrome

Adobe Reader XI или Adobe Acrobat

Reader DC Kaspersky Endpoint

Security для Windows

Учебно-методическая литература для данной дисциплины имеется в наличии в электронно-библиотечной системе "ZNANIUM.COM", доступ к которой предоставлен обучающимся. ЭБС "ZNANIUM.COM" содержит произведения крупнейших российских учёных, руководителей государственных органов, преподавателей ведущих вузов страны, высококвалифицированных специалистов в различных сферах бизнеса. Фонд

библиотеки сформирован с учетом всех изменений образовательных стандартов и включает учебники, учебные пособия, учебно-методические комплексы, монографии, авторефераты, диссертации, энциклопедии, словари и справочники, законодательно-нормативные документы, специальные периодические издания и издания, выпускаемые издательствами вузов. В настоящее время ЭБС ZNANIUM.COM соответствует всем требованиям федеральных государственных образовательных стандартов высшего образования (ФГОС ВО) нового поколения.

Учебно-методическая литература для данной дисциплины имеется в наличии в электронно-библиотечной системе Издательства "Лань", доступ к которой предоставлен обучающимся. ЭБС Издательства "Лань" включает в себя электронные версии книг издательства "Лань" и других ведущих издательств учебной литературы, а также электронные версии периодических изданий по естественным, техническим и гуманитарным наукам. ЭБС Издательства "Лань" обеспечивает доступ к научной, учебной литературе и научным периодическим изданиям по максимальному количеству профильных направлений с соблюдением всех авторских и смежных прав.