МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ

РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

Федеральное государственное автономное
образовательное учреждение высшего образования
«Национальный исследовательский Нижегородский государственный университет
им. Н.И. Лобачевского»

Балахнинский филиал ННГУ

УТВЕРЖДЕНО
решением ученого совета ННГУ
протокол от
«26» июня 2019 г. № 6

Рабочая программа дисциплины

ЛИНИИ ПЕРЕДАЧИ ЭЛЕКТРОЭНЕРГИИ И СИГНАЛОВ

Уровень высшего образования
БАКАЛАВРИАТ

Направление подготовки
13.03.02. ЭЛЕКТРОЭНЕРГЕТИКА И ЭЛЕКТРОТЕХНИКА

Направленность (профиль) образовательной программы
ЭЛЕКТРОРАДИОТЕХНИКА

Квалификация

БАКАЛАВР

Формы обучения
ОЧНО-ЗАОЧНАЯ

Балахна
2019

Лист актуализации

Визирование РПД для исполнения в очередном учебном году

Пересмотренная рабочая программа утверждена на заседании учёного совета Балахнинского филиала ННГУ
10 июня 2020 г. Протокол № 6. Председатель учёного совета БФ ННГУ _____А.К. Балдин

Рабочая программа пересмотрена, обсуждена и одобрена для
исполнения в 2020-2021 учебном году на заседании кафедры
Прикладной информатики, информационных технологий, радио- и электротехники БФ ННГУ

Протокол от 6 июня 2020 г. № 10
И.о. Зав. кафедрой _____Д.Н. Шуваев

Визирование РПД для исполнения в очередном учебном году

Председатель ОМК
__ _____ 20___ г.

Рабочая программа пересмотрена, обсуждена и одобрена для
исполнения в 2021-2022 учебном году на заседании кафедры
_____

Протокол от __ _____ 2020 г. № __
Зав. кафедрой _____

Визирование РПД для исполнения в очередном учебном году

Председатель ОМК
__ _____ 20___ г.

Рабочая программа пересмотрена, обсуждена и одобрена для
исполнения в 2022-2023 учебном году на заседании кафедры
_____

Протокол от __ _____ 20___ г. № __
Зав. кафедрой _____

Визирование РПД для исполнения в очередном учебном году

Председатель ОМК
__ _____ 20___ г.

Рабочая программа пересмотрена, обсуждена и одобрена для
исполнения в 2023-2024 учебном году на заседании кафедры
_____

Протокол от __ _____ 20___ г. № __
Зав. кафедрой _____

1. Место дисциплины в структуре ОПОП

Дисциплина относится к части, формируемой участниками образовательных отношений (Б1.В.12), ориентирована на подготовку выпускников к решению эксплуатационного типа задач профессиональной деятельности и частичное формирование компетенции ПК-5, определяемое индикаторами ПК-5.1, 5.3.

Формирование компетенции ПК-5 начато в ходе освоения дисциплин Электрорадиотехнические цепи и устройства приёма и передачи сигналов (ПК-5.1, 5.2), будет продолжено при освоении дисциплин Приём, анализ и обработка сигналов (ПК-5.1, 5.2), Технологии производства и эксплуатации радиотехнических систем (ПК-5.2) и завершено в ходе выполнения Технологической и Преддипломной практик и подготовки Выпускной квалификационной работы (бакалаврской работы).

2. Планируемые результаты обучения по дисциплине, соотнесённые с планируемыми результатами освоения образовательной программы (компетенциями и индикаторами достижения компетенций)

Формируемые компетенции (код, содержание компетенции)	**Планируемые результаты обучения по дисциплине (модулю), в соответствии с индикатором достижения компетенции**		**Наименование оценочного средства**
	Индикатор достижения компетенции (код, содержание индикатора)	**Результаты обучения по дисциплине**	
ПК-5. Способен участвовать в эксплуатации устройств генерирования, формирования, передачи, приёма, обработки и анализа радиосигналов	ПК-5.1. Демонстрирует знание и способности практического применения теории радиотехнических цепей и сигналов, линий передачи и резонаторов. ПК-5.2. Показывает понимание принципов работы и способности использования устройств генерирования, формирования, передачи, приёма, анализа и обработки радиосигналов.	Знает режимы работы линий передачи электроэнергии и сигналов, методы исследования распространения электромагнитных волн в линиях передачи и электромагнитных колебаний в резонаторах Умеет использовать имеющиеся средства исследований для решения задач электрорадиотехники. Владеет навыками решения профессиональных задач анализа и оптимизации параметров линий передачи электроэнергии и сигналов.	Вопросы к зачёту, Тесты, Вопросы практических занятий, Задачи практических занятий, Практические задания лабораторных работ, Задачи, выносимые на зачёт

3. Структура и содержание дисциплины

3.1 Трудоёмкость дисциплины

	очно-заочная форма обучения
Общая трудоёмкость	3 ЗЕТ
Часов по учебному плану	108
в том числе	
аудиторные занятия (контактная работа): - занятия лекционного типа - занятия лабораторного типа - занятия семинарского типа - КСР	31 14 8 8 1
самостоятельная работа	77
Промежуточная аттестация – зачёт	

3.2. Содержание дисциплины

Наименование и краткое содержание разделов и тем дисциплины	**Всего (часы)**	в том числе				
		Контактная работа (работа во взаимодействии с преподавателем), часы из них				**Самостоятельная работа обучающегося, часы**
		Занятия лекционного типа	**Занятия семинарского типа**	**Занятия лабораторного типа**	**Всего**	
	Очно-заочная	Очно-заочная	Очно-заочная	Очно-заочная	Очно-заочная	Очно-заочная
1. Общие вопросы учебного курса	6	1			1	5
2. Общие сведения об электроэнергетических системах	6	1			1	5
3. Схемы замещения при расчётах установившихся режимов	6	1	1		2	4
4. Расчёт режимов линий электропередачи и электрических сетей в нормальных и послеаварийных режимах	10	2	1		3	7
5. Технологический расход электроэнергии на её транспортировку	6	1			1	5
6. Элементы проектирования электрических систем и сетей	10	2	1		3	7
7. Проблемы расчёта установившегося режима сложных электрических систем и сетей произвольной конфигурации	15	1	2		3	12

8. Электромагнитные волны, в направляющих системах (линиях передачи)	20	2	2	6	10	10
9. Собственные колебания в полых резонаторах	16	1	1	2	4	12
10. Возбуждение волноводов и резонаторов заданными источниками	6	1			1	5
11. Медленные волны	6	1			1	5
КСР	1				1	
Промежуточная аттестация						
Итого	108	14	8	8	30	77

1) Введение. Общие задачи электроэнергетики и её особенности как отрасли народного хозяйства. Краткий обзор развития мировой и отечественной энергетики. План ГОЭЛРО. Перспективы и основные проблемы развития электроэнергетики РФ.

Энергетическая и электрическая системы. Технико-экономические преимущества создания энергосистем и объединений. Основные допущения.

Задачи контроля технического состояния и эксплуатации электроэнергетических систем и сетей.

2) Общие сведения об электроэнергетических системах.

Компенсация реактивной мощности. Краткая характеристика ИРМ поперечного включения.

Классификация электрических сетей (системообразующие, питающие, распределительные; по характеру потребителей; по конфигурации; по режиму нейтрали). Типы конфигураций сетей и области их применения: Р1, Р2; З1, З2; Д1, Д2; У; М. Основы рационального построения сетей.

Схемы и технологии контроля технического состояния и эксплуатации электроэнергетических систем и сетей.

3) Схемы замещения при расчётах установившихся режимов (УР)

Общие сведения о схемах замещения. Линейные и нелинейные уравнения УР

Электрические нагрузки узлов электрических сетей

Представление синхронных генераторов при расчётах УР. Практическое представление СГ при расчётах УР. Представление нагрузок при расчётах УР.

Схемы замещения линий. Схемы замещения воздушных (ВЛ) и кабельных (КЛ) линий. Представление ЛЭП при расчётах УР. Расчёт параметров схемы замещения ВЛ. R0; $X0._{внешн.}$; $X0._{внутр.}$; b0; Qc. Корректирующие коэффициенты длинных ВЛ. Схемы замещения КЛ. Типы схем замещения, условия выбора

Представление трансформаторов при расчёте УР. Двухобмоточные трансформаторы. Трёхобмоточные трансформаторы. Автотрансформаторы (АТ). Трансформаторы и АТ с расщепленной обмоткой низшего напряжения. Трансформаторы и АТ с расщеплением обмоток более чем на две. Оценка активных сопротивлений трансформаторов и АТ с числом обмоток более двух при неполной информации о потерях короткого замыкания

Классификация реакторов. Одинарные токоограничивающие реакторы. Ограничение пусковых токов двигателей. Сдвоенные токоограничивающие реакторы. Шунтирующие реакторы. Заземляющие реакторы.

4) Расчёт режимов линий электропередачи и электрических сетей (ЭЭС) в нормальных и послеаварийных режимах.

Расчёт режимов простейших сетей. Основные допущения при анализе УР ЭЭС. Расчёт режима одиночной ЛЭП и векторная диаграмма при заданном токе нагрузки. Расчёт сети из двух последовательных линий при заданном токе нагрузки и напряжении в конце. Падение и потеря напряжения в линии. Допущения при расчёте разомкнутых распределительных сетей до 35 кВ. Понятие «Расчётные нагрузки узлов» в сетевых задачах.

Расчёт режимов замкнутых сетей. Распределение потоков мощности и напряжений в простых замкнутых сетях. Расчёт простой замкнутой сети при разных напряжениях в точках питания головных участков. Метод расщепления сети. Понятие однородности сети. Упрощённые методы расчёта однородной и почти однородной сети.

Средства контроля технического состояния и эксплуатации электроэнергетических систем и сетей.

5) Технологический расход электроэнергии на её транспортировку.

Потери электрической энергии и мощности. Общая характеристика существующих методов расчёта потерь. Метод определения ΔW по графику нагрузки (метод графического интегрирования). Определение ΔW по методу времени наибольших потерь т. Модификация 1: Δp, Δq. Модификация 2: 2Δ. Схема подключения индукционного счётчика. Обработка показаний, расчётный множитель. Определение ΔW по методу средних нагрузок. Модификации метода. Метод характерных режимов расчётного периода. Потери электроэнергии в сетях 0,4 кВ. Вероятностно-статистические методы расчёта потерь электроэнергии.

Расчёт, нормирование и снижение потерь электрической энергии при её передаче по электрическим сетям. Фактические (отчётные) потери. Структура баланса электрической энергии электроснабжающей организации (ЭСО). Технологические потери. Технические потери. Условно-постоянные потери. Нагрузочные (переменные) потери. Потери, обусловленные погрешностью системы учёта. Нормативы технологических потерь электроэнергии.

Методы расчёта нагрузочных потерь: оперативных расчётов; расчётных суток; средних нагрузок; числа часов наибольших потерь мощности; оценки потерь по обобщённой информации о схемах и нагрузках сети.

Составляющие условно-постоянных потерь электрической энергии при её передаче. Потери холостого хода трансформаторов. «Климатические» составляющие (потери на корону 110 кВ и выше, потери от токов утечки через изоляторы ВЛ, расход электроэнергии на плавку гололёда). Потери в компенсирующих устройствах (статических компенсаторах, блоках контроля сети (БКС) и статических тиристорных компенсаторах, шунтирующих реакторах). Потери в элементах системы учёта электроэнергии.

Иные составляющие условно-постоянных потерь: потери в изоляции КЛ; потери в соединительных проводах ПС; потери в вентильных разрядниках, ограничителях перенапряжений нелинейных (ОПН), устройствах ВЧ- связи; расход на собственные нужды ПС.

Потери, обусловленные допустимыми погрешностями системы учёта электроэнергии.

Порядок расчёта потерь, обусловленных допустимыми погрешностями системы учёта электроэнергии.

Необходимость контроля технического состояния и эксплуатации электроэнергетических систем и сетей как путь снижения потерь.

6) Элементы проектирования электрических систем и сетей.

Прогнозирование нагрузок ЭЭС. Расчёт электрических нагрузок ЭЭС на перспективу. Характеристики режима работы ЭЭС. Методы прогнозирования режимов работы ЭЭС

Современная система управления потоками реактивной мощности

Выбор проводов и кабелей. Инженерные методы оценки величины номинального напряжения электрической сети. Понятие «натуральная мощность» линии электропередач. Определение сечения проводов и кабелей по экономической плотности тока и экономическим интервалам. Проверка сечения проводов и кабелей по условиям допустимого нагрева.

Планирование контроля технического состояния и эксплуатации электроэнергетических систем и сетей при их проектировании.

7) Проблемы расчёта установившегося режима сложных электрических систем и сетей произвольной конфигурации.

Представление схем замещения сложных электрических систем и сетей произвольной конфигурации. Формализованное представление структуры схемы замещения. Разновидности графов. Первая и вторая матрицы инциденций.

Постановка задачи расчёта установившегося режима. Техническая и математическая постановка задачи расчёта установившегося режима. Расчёт установившегося режима сложных электрических систем и сетей произвольной конфигурации.

Обобщённое уравнение состояния, метод узловых потенциалов, метод контурных токов.

Контроль технического состояния и эксплуатации электроэнергетических систем и сетей и расчёт установившегося режима сложных электрических систем и сетей произвольной конфигурации.

8) Общая характеристика и практическое значение теории электромагнитных волновых процессов в сплошных средах. Краевые задачи электродинамики при наличии проводников и диэлектриков.

Электромагнитные волны в направляющих системах (линиях передачи).

Общее решение уравнений Максвелла для монохроматических направляемых волн. Выражение векторов поля нормальных волн в линии передачи через скалярные функции поперечных координат. Классификация направляемых волн и линий передачи; волны типов TE, TM и TEM; гибридные волны; быстрые и медленные волны; открытые и закрытые линии передачи. Двумерное уравнение Гельмгольца. Поперечное и продольное волновые числа.

Общие свойства волн в линиях передачи с идеально проводящими границами. Граничные условия для поперечных волновых функций. Формулировка и общая характеристика решений краевых задач для волн различных типов. Действительность спектра поперечных волновых чисел. Дисперсионные уравнения. Режимы распространения и запирания. Критические частоты. Длина волны, фазовая и групповая скорости. Характеристический импеданс. Мощность, переносимая волной. Соотношения ортогональности и аддитивность потоков энергии парциальных волн. Условия существования главных (TEM) волн.

Линии передачи конкретного вида; прямоугольный и круглый волноводы, коаксиальный кабель, двухпроводная и полосковая линии. Спектры поперечных волновых чисел; критические частоты и длины волн. Структура поля волн низших типов. Представление полей волновых мод в виде суперпозиции плоских волн в свободном пространстве (концепция Бриллуена).

Затухание волн в неидеальной линии передачи. Потери энергии в среде, заполняющей волновод. Потери энергии в стенках волновода; скин-эффект; граничное условие Леонтовича; поверхностный импеданс стенки.

Описание главных (TEM) волн в линии передачи в терминах тока и напряжения. Эквивалентные погонные параметры и волновое сопротивление линии. Телеграфные уравнения. Отражение волны от нагрузки; преобразование импедансов; согласование линии с нагрузкой.

9) Электромагнитные колебания в полых резонаторах.

Общая постановка задачи о собственных колебаниях в резонаторах с идеально проводящими стенками. Основные свойства полей нормальных (собственных) колебаний; действительность спектра собственных частот; равенство средних значений электрической и магнитной энергии; соотношения ортогональности.

Резонаторы, представляющие собой отрезки линий передачи. Структура поля и спектры собственных частот колебаний в прямоугольном, цилиндрическом и коаксиальном резонаторах. Квазистационарные резонаторы. Поля и собственные частоты тороидального и магнетронного резонаторов.

Затухание собственных колебаний в резонаторах. Расчёт декрементов затухания, обусловленного потерями энергии в заполняющей среде и в стенках резонатора. Добротность колебаний.

10) Возбуждение волноводов и резонаторов заданными источниками.

Лемма Лоренца и теорема взаимности для монохроматического электромагнитного поля, создаваемого произвольными системами электрических и магнитных токов.

Поля, создаваемые в линиях передачи сторонними монохроматическими токами. Представлений полей в виде суперпозиции собственных мод. Расчёт амплитуд возбуждаемых волн с помощью леммы Лоренца. Поля внутри и вне области источников. Способы возбуждения волноводов.

Вынужденные электромагнитные колебания, возбуждаемые сторонними монохромати-

ческими токами в полых резонаторах. Вихревые и потенциальные поля. Разложение вихревых полей по собственным модам резонатора. Резонансные спектры идеального и неидеального резонаторов. Способы возбуждения резонаторов.

11) Медленные волны.

Линии передачи, направляющие медленные (поверхностные) волны. Классификация замедляющих систем. Волны в диэлектрическом слое и в круглом диэлектрическом стержне; волоконный световод. Поверхностная волна над ребристой металлической структурой.

Текущий контроль успеваемости реализуется в рамках занятий семинарского типа, лабораторного типа, групповых или индивидуальных консультаций.

Промежуточная аттестация проходит в традиционной форме (зачёт).

4. Учебно-методическое обеспечение самостоятельной работы обучающихся

Подготовка к лабораторным, практическим и лекционным занятиям. Выполнение и защита результатов лабораторных работ. Подготовка к прохождению и прохождение испытаний промежуточной аттестации (зачёт).

Контрольные вопросы и задания для проведения текущего контроля и промежуточной аттестации по итогам освоения дисциплины приведены в п. 5.2.

5. Фонд оценочных средств для промежуточной аттестации по дисциплине (модулю), включающий:

5.1. Описание шкал оценивания результатов обучения по дисциплине

Уровень сформированности компетенций (индикатора достижения компетенций)	**Шкала оценивания сформированности компетенций**						
	плохо	**Неудовлетворительно**	**Удовлетворительно**	**хорошо**	**очень хорошо**	**отлично**	**превосходно**
	Не зачтено		**Зачтено**				
Знания	Отсутствие знаний теоретического материала. Невозможность оценить полноту знаний вследствие отказа обучающегося от ответа	Уровень знаний ниже минимальных требований. Имели место грубые ошибки.	Минимально допустимый уровень знаний. Допущено много негрубых ошибки.	Уровень знаний в объёме, соответствующем программе подготовки. Допущено несколько негрубых ошибок	Уровень знаний в объёме, соответствующем программе подготовки. Допущено несколько несущественных ошибок	Уровень знаний в объёме, соответствующем программе подготовки, без ошибок.	Уровень знаний в объёме, превышающем программу подготовки.
Умения	Отсутствие минимальных умений. Невозможность оценить наличие умений вследствие отказа обучающегося от ответа	При решении стандартных задач не продемонстрированы основные умения. Имели место грубые ошибки.	Продемонстрированы основные умения. Решены типовые задачи с негрубыми ошибками. Выполнены все задания, но не в полном объёме.	Продемонстрированы все основные умения. Решены все основные задачи с негрубыми ошибками. Выполнены все задания, в полном объёме, но некоторые с недочётами.	Продемонстрированы все основные умения. Решены все основные задачи. Выполнены все задания, в полном объёме, но некоторые с недочётами.	Продемонстрированы все основные умения, решены все основные задачи с отдельными несущественным недочётами, выполнены все задания в полном объёме.	Продемонстрированы все основные умения. Решены все основные задачи. Выполнены все задания, в полном объёме без недочётов
Навыки	Отсутствие владения	При решении стандартных	Имеется минимальный	Продемонстрированы базовые	Продемонстрированы базовые	Продемонстрированы навыки	Продемонстрирован творче-

	материалом. Невозможность оценить наличие навыков вследствие отказа обучающегося от ответа	задач не продемонстрированы базовые навыки. Имели место грубые ошибки.	набор навыков для решения стандартных задач с некоторыми недочётами	навыки при решении стандартных задач с некоторыми недочётами.	навыки при решении стандартных задач без ошибок и недочётов.	при решении нестандартных задач без ошибок и недочётов.	ский подход к решению нестандартных задач.

Шкала оценки при промежуточной аттестации

Оценка		Уровень подготовки
Зачтено	Превосходно	Все компетенции (части компетенций), на формирование которых направлена дисциплина, сформированы на уровне не ниже «превосходно»
	Отлично	Все компетенции (части компетенций), на формирование которых направлена дисциплина, сформированы на уровне не ниже «отлично», при этом хотя бы одна компетенция сформирована на уровне «отлично»
	Очень хорошо	Все компетенции (части компетенций), на формирование которых направлена дисциплина, сформированы на уровне не ниже «очень хорошо», при этом хотя бы одна компетенция сформирована на уровне «очень хорошо»
	Хорошо	Все компетенции (части компетенций), на формирование которых направлена дисциплина, сформированы на уровне не ниже «хорошо», при этом хотя бы одна компетенция сформирована на уровне «хорошо»
	Удовлетворительно	Все компетенции (части компетенций), на формирование которых направлена дисциплина, сформированы на уровне не ниже «удовлетворительно», при этом хотя бы одна компетенция сформирована на уровне «удовлетворительно»
Не зачтено	Неудовлетворительно	Хотя бы одна компетенция сформирована на уровне «неудовлетворительно», ни одна из компетенций не сформирована на уровне «плохо»
	Плохо	Хотя бы одна компетенция сформирована на уровне «плохо»

5.2. Типовые контрольные задания или иные материалы, необходимые для оценки результатов обучения.

5.2.1. Вопросы к зачёту

Вопросы	Код формируемой компетенции
1) Общая характеристика энергосистем. Классификация электрических сетей.	ПК-5
2) Основные конструктивные элементы ВЛ электропередач.	ПК-5
3) Общие сведения о схемах замещения.	ПК-5
4) Расчет и векторная диаграмма ЛЭП при заданном токе (мощности) нагрузки.	ПК-5
5) Расчетные нагрузки подстанций при расчетах УР.	ПК-5
6) Определение потери и падения напряжения в ЛЭП по известным мощности и напряжению в конце линии.	ПК-5

7) Расчет и векторная диаграмма сети из двух последовательных ЛЭП при заданных мощностях нагрузки и напряжении в конце.	ПК-5
8) Распределение потоков мощности и напряжений в простых замкнутых сетях.	ПК-5
9) Метод расщепления схем.	ПК-5
10) Представление ВЛ и КЛ в схемах замещения при расчетах УР.	ПК-5
11) Представление генераторов при расчетах УР.	ПК-5
12) Векторная диаграмма синхронного генератора в режиме перевозбуждения.	ПК-5
13) Представление нагрузок при расчетах УР.	ПК-5
14) Представление двухобмоточных трансформаторов в схемах замещения при расчетах УР.	ПК-5
15) Представление трансформаторов с расщепленными обмотками в схемах замещения при расчетах УР.	ПК-5
16) Представление трехобмоточных трансформаторов в схемах замещения при расчетах УР.	ПК-5
17) Представление автотрансформаторов в схемах замещения при расчетах УР.	ПК-5
18) Представление реакторов в схемах замещения при расчетах УР.	ПК-5
19) Оценка активных сопротивлений трансформаторов и автотрансформаторов при числе обмоток более двух.	ПК-5
20) Влияние распределения нагрузок по обмоткам многообмоточных трансформаторов и АТ на выбор схемы замещения при расчетах УР.	ПК-5
21) Методы и средства контроля технического состояния и эксплуатации электроэнергетических систем и сетей.	ПК-5
22) Общие свойства волн в линиях передачи с идеально проводящими границами. Спектр поперечных волновых чисел.	ПК-5
23) Дисперсионные уравнения. Режимы распространения и запирания. Критические частоты.	ПК-5
24) Линии передачи с идеально проводящими границами. Критические частоты. Длина волны, фазовая и групповая скорости. Характеристический импеданс. Мощность, переносимая волной.	ПК-5
25) Соотношения ортогональности и аддитивность потоков энергии парциальных волн. Условия существования главных (ТЕМ) волн. Применение теории линий передачи и резонаторов.	ПК-5
26) Классификация направляемых волн и линий передачи. Волны типов ТЕ, ТМ и ТЕМ; гибридные волны; быстрые и медленные волны; открытые и закрытые линии передачи.	ПК-5
27) Прямоугольный волновод. Дисперсионное соотношение, критические частоты и длины волн. Структура поля волн низших типов.	ПК-5
28) Представление полей волновых мод в виде суперпозиции плоских волн в свободном пространстве (концепция Бриллюена). Применение теории линий передачи и резонаторов.	ПК-5
29) Критическая частота и критическая длина волны прямоугольного волновода с поперечным сечением a x b.	ПК-5
30) Изобразить силовые линии электрического и магнитного полей основной моды коаксиального волновода. Критическая частота этой моды.	ПК-5
31) Круглый волновод. Дисперсионное соотношение, критические частоты и длины волн. Структура поля волн низших типов. Применение теории линий передачи и резонаторов.	ПК-5
32) Описание главных (ТЕМ) волн в линии передачи в терминах тока и напряжения. Эквивалентные погонные параметры и волновое сопротив-	ПК-5

ление линии. Телеграфные уравнения. Отражение волны от нагрузки.	
33) Затухание волн в неидеальной линии передачи. Потери энергии в среде, заполняющей волновод. Потери энергии в стенках волновода.	ПК-5
34) Резонаторы, представляющие собой отрезки линий передачи. Структура поля и спектры собственных частот колебаний в прямоугольном и цилиндрическом резонаторах. Применение теории линий передачи и резонаторов.	ПК-5
35) Затухание собственных колебаний в резонаторах. Расчёт декрементов затухания, обусловленного потерями энергии в заполняющей среде и в стенках резонатора. Добротность колебаний.	ПК-5
36) Поля, создаваемые в линиях передачи сторонними монохроматическими токами. Расчет амплитуд возбуждаемых волн с помощью леммы Лоренца.	ПК-5
37) Поля внутри и вне области источников. Способы возбуждения волноводов. Формулы возбуждения волноводов.	ПК-5
38) Вынужденные электромагнитные колебания, возбуждаемые сторонними монохроматическими токами в полых резонаторах.	ПК-5
39) Вихревые и потенциальные поля. Разложение вихревых полей по собственным модам резонатора. Формулы возбуждения резонаторов.	ПК-5
40) Поверхностная волна. Структура поля, фазовая скорость поверхностной волны. Способ её возбуждения.	ПК-5
41) Линии передачи, направляющие медленные (поверхностные) волны. Классификация замедляющих систем.	ПК-5
42) Волны в диэлектрическом слое. Применение теории линий передачи и резонаторов.	ПК-5
43) Понятия дифференциального и полного сечений рассеяния тела.	ПК-5
44) Метод геометрической оптики в задачах дифракции волн на рассеивающих объектах.	ПК-5
45) Применение теории линий передачи и резонаторов.	ПК-5

5.2.2. Тесты (тестовые задания) для оценки компетенции ПК-5

В каждом из предлагаемых ниже заданий выберите и выделите правильный ответ.

1. Дисперсионное уравнение для волн в волноводе можно записать в виде 1) $k^2=h^2+\kappa^2$ 2) $\lambda_в = 2\pi / h$ 3) $k = \omega / c$ Обозначения: $\lambda_в$ – длина волны в волноводе, h – продольное волновое число, k – волновое число плоской волны в вакууме, κ – поперечное волновое число	**2.** Длина волны в прямоугольном волноводе с размерами поперечного сечения *a* x *b* равна 1) нулю 2) $\lambda_в = 2\pi / h$ 3) $\lambda_в = 2\pi / a$ Обозначения: $\lambda_в$ – длина волны в волноводе, h – продольное волновое число
3. Собственные колебания в прямоугольном резонаторе с внутренними размерами ребер a, b, d ($a > b > d$) могут происходить только на частотах 1. $\omega_{mnp} = c\pi\sqrt{(m/a)^2 + (n/b)^2}$ 2. $\omega_{mnp} = c\pi m / a$ 3. на любых частотах	**4.** Низшей модой прямоугольного волновода с размерами поперечного сечения *a* x *b*(*a* > *b*) является 1) TM_{111} 2) TE_{35} 3) TE_{10}

Здесь m, n, p – целые числа, одно из которых может быть равно нулю	
5. Волновое сопротивление линии передачи в терминах тока и напряжения равно 1) отношению амплитуды напряжения к амплитуде тока в бегущей волне 2) нулю 3) импедансу емкости	**6.** Коэффициент отражения от нагрузки на конце линии равен нулю, если 1) нагрузка согласована с линией 2) всегда 3) никогда

5.2.3. Вопросы практических занятий для оценки компетенции ПК-5

1) Общие свойства волн в линиях передачи с идеально проводящими границами. Спектр поперечных волновых чисел. Дисперсионные уравнения. Режимы распространения и запирания. Критические частоты.
2) Линии передачи с идеально проводящими границами. Классификация направляемых волн и линий передачи. Применение теории линий передачи и резонаторов.
3) Прямоугольный волновод. Круглый волновод. Дисперсионное соотношение, критические частоты и длины волн. Структура поля волн низших типов. Представление полей волновых мод в виде суперпозиции плоских волн в свободном пространстве (концепция Бриллюена).
4) Описание главных (ТЕМ) волн в линии передачи в терминах тока и напряжения. Эквивалентные погонные параметры и волновое сопротивление линии. Телеграфные уравнения. Отражение волны от нагрузки.
5) Затухание волн в неидеальной линии передачи.
6) Резонаторы, представляющие собой отрезки линий передачи. Структура поля и спектры собственных частот колебаний в прямоугольном и цилиндрическом резонаторах.
7) Затухание собственных колебаний в резонаторах.
8) Поля, создаваемые в линиях передачи сторонними монохроматическими токами.
9) Вынужденные электромагнитные колебания, возбуждаемые сторонними монохроматическими токами в полых резонаторах.
10) Применение теории линий передачи и резонаторов.

5.2.4. Задачи практических занятий для оценки компетенции ПК-5

Для оценивания результатов выполнения индивидуальных заданий используется

1) Серия задач. Расчёт параметров схем замещения ВЛ.

Рассчитать параметры схем замещения ВЛ, технические характеристики которых приведены ниже. Оценить влияние способа подвески проводов на опорах на численные характеристики схем замещения для трёх характерных случаев.

Вариант	Длина, км	$U_{ном}$, кВ	Марка провода	Расчетный диаметр, мм	R_0, Ом/км	Подвеска 1	Подвеска 2	Подвеска 3
1	10	6	АС-35/6,2	8,4	0,790	1,5; 1,5; 3,0	1,5; 1,5; 1,5	1,5; 1,5; 2,0
2	10	10	АС-50/8,0	9,6	0,603	2,0; 2,0; 3,0	2,0; 2,0; 4,0	2,0; 2,0; 2,0
3	10	6	АС-70/11	11,4	0,429	1,7; 1,7; 1,7	1,7; 1,7; 3,4	1,7; 1,5; 1,6
4	10	10	АС-70/12	15,4	0,428	2,2; 2,2; 2,2	2,2; 2,4; 2,6	2,2; 2,2; 4,4
5	10	6	АС-95/16	13,5	0,306	1,6; 1,6; 3,2	1,6; 1,6; 1,6	1,6; 1,6; 2,0
6	10	10	АС-35/6,2	8,4	0,790	2,0; 2,0; 4,0	2,0; 2,0; 3,0	2,0; 2,0; 2,0
7	10	6	АС-50/8,0	9,6	0,603	1,5; 1,5; 1,5	1,5; 1,5; 3,0	1,5; 1,5; 2,0
8	10	10	АС-70/11	11,4	0,429	2,2; 2,4; 2,6	2,2; 2,2; 2,2	2,2; 2,2; 4,4

9	10	6	АС-70/12	15,4	0,428	1,7; 1,7; 3,4	1,7; 1,7; 1,7	1,7; 1,5; 1,6
10	10	10	АС-95/16	13,5	0,306	1,9; 1,9; 1,9	1,9; 1,9; 3,8	1,9; 1,9; 2,6

2) Серия задач. Расчёт параметров схем замещения электропередачи

Рассчитать параметры схемы замещения электропередачи, технические характеристики которой приведены ниже. Параметры поперечных ветвей схемы замещения рассчитать для двух случаев представления.

Вариант	$U_{ном}$, кВ	Число цепей, шт.	Длина, км	Расстояние между фазами, м	Параметры одной цепи				
					Марка провода	Расчетный диаметр, мм	R_0, Ом/км	Число проводов в фазе, шт.	Расстояние между проводами в фазе, см
1	220	2	130	8, 14, 8	АС-300/39	24,0	0,098	1	
2	110	2	60	5, 7, 5	АС-70/32	15,4	0,428	1	
3	220	2	180	8, 8, 8	АС-300/39	24,0	0,098	1	
4	500	1	300	14, 14, 28	АС-300/39	24,0	0,098	3	45
5	110	2	120	5, 8, 5	АС-95/32	19,8	0,321	1	
6	220	2	130	8, 16, 8	АС-300/39	24,0	0,098	1	
7	110	2	100	5, 5, 5	АС-120/32	15,4	0,253	1	
8	220	2	130	8, 14, 8	АС-400/39	27,5	0,075	1	
9	110	2	50	5, 10, 5	АС-240/32	21,6	0,121	1	
10	500	1	40	14, 14, 28	АС-300/39	24,0	0,098	3	50

3) Серия задач. Расчёт параметров схемы замещения цехового трансформатора

Выбрать схему замещения и определить ее параметры для расчета установившегося режима цехового трансформатора. Определить мощность потерь с использованием параметров схемы замещения. Исходные данные для расчета приведены ниже.

Вариант	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Тип трансформатора	ТМ	ТМ	ТМЗ	ТМЗ	ТМ	ТМС	ТМЗ	ТМЗ	ТМ	ТМЗ
Номинальная мощность, $S_{ном}$, кВА	400	630	1000	1600	2500	1000	400	630	1000	1600
Номинальные напряжения:										
$U_{вн}$, кВ	6	10	6	10	6	10	10	6	10	6
$U_{нн}$, кВ	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4
Активные потери х.х., $P_х$ кВт	1,05	1,56	2,45	3,30	4,60	2,75	1,08	1,68	2,45	3,30
Активные потери к.з., $P_к$, кВт	5,50	7,60	11,0	16,5	26,0	12,2	5,50	7,60	12,2	16,5
Напряжение к.з., $u_{к\%}$, %	4,5	5,5	5,5	5,5	5,5	8,0	5,5	6,5	5,5	5,5
Ток х.х., $I_{х\%}$, %	2,1	2,0	1,4	1,3	1,0	1,5	4,5	3,2	1,4	1,3
Нагрузка трансформатора:										
P_2, кВт	200	300	450	800	1100	400	180	320	500	700
Q_2, квар	80	120	170	350	500	150	60	110	210	300

4) Серия задач. Расчёт параметров схемы замещения силового двухобмоточного трансформатора, установленного на ГПП.

Выбрать схему замещения и определить её параметры для расчёта установившегося режима силового двухобмоточного трансформатора, установленного на ГПП. Определить мощ-

ность потерь:

а) с использованием параметров схемы замещения;

б) с использованием каталожных данных трансформатора.

Исходные данные для расчёта приведены ниже

Вариант	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Тип трансформатора	ТДН	ТДН	ТДН	ТДН	ТМН	ТДНС	ТДНС	ТМН	ТДНС	ТДНС
Номинальная мощность, $S_{ном}$, кВА	10000	16000	10000	16000	6300	10000	16000	6300	10000	16000
Номинальные напряжения:										
$U_{вн}$, кВ	115	115	115	115	35	35	36,75	35	35	36,75
$U_{нн}$, кВ	6,3	6,3	11,0	11,0	6,3	6,3	6,3	10,5	10,5	10,5
Активные потери х.х., $P_х$ кВт	14	21	14	21	9,25	12,5	18,0	9,25	12,5	18,0
Активные потери к.з., $P_к$, кВт	60	86	60	86	46,5	60,0	85,0	46,5	60,0	85,0
Напряжение к.з., $u_{к\%}$, %	10,5	10,5	10,5	10,5	7,5	8,0	10,0	7,5	8,0	10,0
Ток х.х., $I_{х\%}$, %	0,9	0,85	0,9	0,9	0,9	0,8	0,6	0,9	0,8	0,6
Нагрузка трансформатора:										
P_2, кВт	5000	9000	6000	8000	3500	5500	7000	3700	5600	6800
Q_2, квар	2000	3600	2400	3200	1400	2000	2800	1400	2100	2700

Задача 5.

Где и как следует прорезать измерительную щель в прямоугольном волноводе, в котором возбуждена волна TE_{01}? Размеры поперечного сечения волновода $a \times b$ $(a > b)$.

Задача 6.

Где и как надо располагать штырь с током, чтобы возбудить волну TE_{11} в круглом волноводе?

Задача 7.

Нарисовать картину токов, наведенных в стенках круглого волновода волнами TM_{01} и TM_{11}.

Задача 8.

Нарисовать картину силовых линий электрического и магнитного полей колебания TE_{011}, возбужденного в прямоугольном резонаторе с размерами $a \times b \times L$ $(a < b < L)$. Определить резонансную частоту.

Задача 9.

Нарисовать мгновенную картину токов, наведенных в стенках прямоугольного волновода с поперечным сечением $a \times b$ $(a > b)$ полем волны TE_{10}. Где и как следует прорезать измерительную щель в прямоугольном волноводе, в котором возбуждена данная волна?

Задача 10.

Нарисовать картину силовых линий мод TE_{01} и TM_{01} в круглом волноводе.

Задача 11.

Изобразить силовые линии электрического и магнитного полей основной моды коаксиального волновода. Критическая частота этой моды.

Задача 12.

Где и как надо располагать виток с током, чтобы возбудить волну TE_{11} в круглом волноводе?

Задача 13.

Нарисовать картину токов, наведенных в стенках круглого волновода волнами TM_{01} и TM_{11}.

Задача 14.

Как ориентировать а) штырь с током; б) виток с током, чтобы возбудить колебания в коаксиальном резонаторе?

Задача 15.

Нарисовать структуру поля волны TE_{01} в прямоугольном волноводе с поперечным сечением $a \times b$ $(a > b)$ и круглом волноводе с радиусом поперечного сечения a.

5.2.5. Практические задания лабораторных работ для оценки компетенции ПК-5

№ п/п	Наименование лабораторной работы
1.	Измерение импедансов нагрузок при помощи измерительной линии
2.	Ферритовые устройства СВЧ диапазона
3.	Измерение параметров шестиполюсников
4.	Исследование отражательного клистрона
5.	Замедляющие системы типа гребёнки
6.	Электромагнитное экранирование
7.	Рупорная антенна
8.	Спиральная волноводно-щелевая антенна с частотным качанием луча

5.2.6. Задачи, выносимые на зачёт для оценки компетенции ПК-5

Задача 1.

В прямоугольном волноводе с поперечным сечением $a \times b$, заполненном диэлектриком с проницаемостями ε и μ, распространяется мода TM_{22} с частотой ω. Найти критическую длину волны и волновое сопротивление.

Задача 2.

В прямоугольном волноводе с поперечным сечением $a \times b$, заполненном диэлектриком с проницаемостями ε и μ, распространяется мода TM_{11} с частотой ω. Найти критическую длину волны и волновое сопротивление.

Задача 3.

Найти коэффициент возбуждения колебания TE_{011}, создаваемого в прямоугольном резонаторе током $j_x = I_0\, \delta(y - y_0)\, \delta(z - z_0)\, e^{i\omega t}$ $(0 \le x \le l < a)$. Размеры резонатора $a \times b \times L$ $(a < b < L)$, $\omega \approx \omega_{011}$ (ω_{011} – собственная частота колебания TE_{011}).

Задача 4.

В прямоугольном волноводе с поперечным сечением $a \times b$ $(a > b)$, заполненном диэлектриком с проницаемостями ε и μ, распространяется низшая мода с частотой ω. Найти критическую частоту, длину волны в волноводе, фазовую скорость и волновое сопротивление.

Задача 5.

В прямоугольном волноводе с поперечным сечением $a \times b$ $(a > b)$, заполненном диэлектриком с проницаемостями ε и μ, распространяется волна TE_{32} с частотой ω. Определить длину волны, ее фазовую скорость и волновое сопротивление. Нарисовать структуру электрического поля этой волны.

Задача 6.

Прямоугольный волновод с поперечным сечением $a \times b$ $(a > b)$ заполнен диэлектриком с проницаемостями ε и μ. Определить длину волны и волновое сопротивление моды TE_{01}, распространяющейся на частоте ω.

Задача 7.

Определить добротность колебаний типа TE_{011} в резонаторе с размерами $a \times b \times L$ $(a < b < L)$, заполненном диэлектриком с диэлектрической проницаемостью ε и тангенсом угла потерь tgχ.

Задача 8.

В прямоугольном волноводе с поперечным сечением $a \times b$, заполненном диэлектриком с проницаемостями ε и μ, распространяется мода TM_{22} с частотой ω. Найти длину волны в волноводе и фазовую скорость.

Задача 9.

Определить низшую резонансную частоту незаполненного прямоугольного резонатора с размерами $a \times b \times L$ $(a < b < L)$. Найти полную запасенную в резонаторе энергию, если амплитуда электрического поля равна E_0.

Задача 10.

В прямоугольном волноводе с поперечным сечением $a \times b$, заполненном диэлектриком с проницаемостями ε и μ, распространяется мода TM_{11} с частотой ω. Найти длину волны в волноводе и фазовую скорость.

6. Учебно-методическое и информационное обеспечение дисциплины

а) основная литература:

1. Лыкин А.В. Электрические системы и сети [Электронный ресурс]: учебник / - Новосибирск : Изд-во НГТУ, 2017. –

Режим доступа: http://www.studentlibrary.ru/book/ISBN9785778230378.html [26.09.2019].

2. Немировский А.Е., Сергиевская И.Ю., Крепышева Л.Ю. Электрооборудование электрических сетей, станций и подстанций: Учебное пособие, 2-е изд., доп. – М.:Инфра-Инженерия, 2018. – 148 с.

Режим доступа: http://znanium.com/bookread2.php?book=989739 [26.09.2019].

3. Фомин А.Н., Копылов В.А. Общая теория радиолокации и радионавигации. Распространение радиоволн [Электронный ресурс]: учебник / – Красноярск: СФУ, 2017. – 318 с. - ISBN 978-5-7638-3738-4 –

Режим доступа: https://www.studentlibrary.ru/book/ISBN9785763837384.html [26.09.2019].

4. Каганов В.И. Колебания и волны в природе и технике. Компьютеризированный курс [Электронный ресурс]: Учебное пособие для вузов. – М.: Горячая линия - Телеком, 2015. – 333 с. - ISBN 978-5-9912-0534-4 –

Режим доступа: http://www.studentlibrary.ru/book/ISBN9785991205344.html [29.09.20119]

5. Судаков В.Ф. Волны и направляющие структуры в электротехнике: учеб. пособие по курсу "Теоретические основы электротехники" [Электронный ресурс]. – М.: Издательство

МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2010. – 29 с. - ISBN -- -

Режим доступа: http://www.studentlibrary.ru/book/bauman_0457.html [29.09.20119]

б) дополнительная литература:

1. Гужов Н.П. Системы электроснабжения [Электронный ресурс]: учебник. – Новосибирск: Изд-во НГТУ, 2015. – 258 с.

Режим доступа: http://www.studentlibrary.ru/book/ISBN9785778227347.html [26.09.2019].

2. Николаева С.И. Электроэнергетические сети и системы: Учебное пособие / - Волгоград: Волгоградский государственный аграрный университет, 2018. - 64 с.

Режим доступа: http://znanium.com/bookread2.php?book=1007833 [26.09.2019].

3. Режим доступа: http://znanium.com/bookread2.php?book=989739 [26.09.2019].

4. Кисель Н.Н. Моделирование распространения радиоволн в пакете Wireless InSite [Электронный ресурс]: учебное пособие. – Ростов н/Д: Изд-во ЮФУ, 2018. – 107 с. - ISBN 978-5-9275-2698-7 –

Режим доступа: http://www.studentlibrary.ru/book/ISBN9785927526987.html [29.09.20119]

5. Сомов А.М. Электродинамика [Электронный ресурс]: Учебное пособие. – М.: Горячая линия - Телеком, 2011. – 198 с. - ISBN 978-5-9912-0155-1 –

Режим доступа: http://www.studentlibrary.ru/book/ISBN9785991201551.html [29.09.20119]

6. Гринев А.Ю. Основы электродинамики с MATLAB [Электронный ресурс]: учеб. пособие / А.Ю. Гринев, Е.В. Ильин. – М.: Логос, 2017. – 176 с. - ISBN 978-5-98704-700-2 –

Режим доступа: http://www.studentlibrary.ru/book/ISBN9785987047002.html [29.09.20119]

в) программное обеспечение лицензионное и свободно распространяемое

– Операционная система Microsoft Windows
– Пакет прикладных программ Microsoft Office
– Правовая система «Консультант плюс»
– Браузер Google Chrome

г) Интернет-ресурсы

– Известия вузов «Электромеханика», http://electromeh.npi-tu.ru/ru/archive/
– Известия вузов «Радиоэлектроника», https://re.eltech.ru/jour#
– http://электротехнический-портал.рф/kniga.html
– Радиотехнический сайт, https://radiotract.ru/link_sprav.html
– ЭБС «Юрайт». Режим доступа: http://biblio-online.ru
– ЭБС «Консультант студента». Режим доступа: http://www.studentlibrary.ru
– ЭБС «Лань». Режим доступа: http://e.lanbook.com/
– ЭБС «Znanium.com». Режим доступа: www.znanium.com

д) профессиональные базы данных и информационные справочные системы

– Радиоэлектроника http://window.edu.ru/catalog/resources?p_str=Радиоэлектроника [26.10.19]
– Список сайтов по радиоэлектронике http://radiostorage.net/page/3-spisok-sajtov-po-radioelektronike.html [26.10.19]
– Банк изобретений, технологий и научных открытий: http://www.ntpo.com [26.10.19]
– Научная электронная библиотека www.elibrary.ru [26.10.19]

- База данных ВИНИТИ РАН http://www.viniti.ru/ [26.10.19]
- База данных рецензируемой литературы Scopus https://www.scopus.com [26.10.19]
- База данных Web of Science https://apps.webofknowledge.com [26.10.19]
- ГАРАНТ. Информационно-правовой-портал http://www.garant.ru/
- Правовая система «Консультант плюс»

7. Материально-техническое обеспечение дисциплины

Помещения, используемые при реализации дисциплины, представляют собой учебные аудитории для проведения учебных занятий.

Лекционные, практические занятия и лабораторные работы проводятся в специализированной лаборатории электротехники и электроники, оснащённой комплектами лабораторного оборудования, лабораторными стендами, измерительным оборудованием, техническим оборудованием, обеспечивающим проведение занятий.

Помещения (аудитории) для самостоятельной работы обучающихся оснащены компьютерной техникой, подключённой к сети «Интернет» и обеспеченной доступом в электронную информационно-образовательную среду вуза.

Программа составлена в соответствии с требованиями ФГОС ВО по направлению 13.03.02 Электроэнергетика и электротехника

Автор: д.ф.-м.н., доцент О.А. Шейнер

Рецензент:
д.т.н., начальник отдела АО "Опытное Конструкторское Бюро Машиностроения им. И. И. Африкантова" В.А. Панов

Программа утверждена на заседании объединённой методической комиссии Института открытого образования и филиалов университета, протокол № 13 от 29.04.2019 г.