

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 президиума Ученого совета ННГУ

протокол № 1 от 16.01.2024 г.

**Рабочая программа дисциплины**

Линии передачи электроэнергии и сигналов

---

Уровень высшего образования

Бакалавриат

---

Направление подготовки / специальность

13.03.02 - Электроэнергетика и электротехника

---

Направленность образовательной программы

Электрорадиотехника

---

Форма обучения

очная, очно-заочная

---

г. Балахна

2024 год начала подготовки

## 1. Место дисциплины в структуре ОПОП

Дисциплина Б1.В.ДВ.01.01 Линии передачи электроэнергии и сигналов относится к части, формируемой участниками образовательных отношений образовательной программы.

## 2. Планируемые результаты обучения по дисциплине, соотнесенные 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	Для текущего контроля успеваемости	Для промежуточной аттестации
ПКР-10: Способен участвовать в обеспечении и контроле эксплуатации объектов профессиональной деятельности	<p>ПКР-10.1: Применяет методы и технические средства обеспечения и контроля технического сопровождения и эксплуатации объектов профессиональной деятельности</p> <p>ПКР-10.2: Демонстрирует знания и умения организации технического обслуживания и ремонта объектов профессиональной деятельности</p> <p>ПКР-10.3: Демонстрирует понимание взаимосвязи задач технического обслуживания и эксплуатации</p>	<p>ПКР-10.1: Знает методы и технические средства обеспечения и контроля технического сопровождения и эксплуатации линий передач электроэнергии и сигналов. Умеет использовать имеющиеся средства исследований для решения стандартных задач Владеет навыками применения методов и технических средств обеспечения и контроля технического сопровождения и эксплуатации объектов профессиональной деятельности.</p> <p>ПКР-10.2: Знает методы и технические средства обеспечения и контроля технического сопровождения и эксплуатации линий передач электроэнергии и сигналов. Умеет использовать имеющиеся средства исследований для решения стандартных задач Владеет навыками организации технического обслуживания и ремонта линий передач электроэнергии и сигналов</p>	Практическое задание Задачи	Зачёт: Контрольные вопросы Тест

		<p><b>ПКР-10.3:</b>  Знает методы и технические средства обеспечения и контроля технического сопровождения и эксплуатации линий передач электроэнергии и сигналов.  Умеет видеть взаимосвязи задач технического обслуживания и эксплуатации.  Владеет пониманием взаимосвязи задач технического обслуживания и эксплуатации</p>		
<p><b>ПКР-4:</b> Способен участвовать в проектных работах при разработке объектов профессиональной деятельности</p>	<p><b>ПКР-4.1:</b> Показывает способности участвовать в проектных работах  <b>ПКР-4.2:</b> Демонстрирует понимание взаимосвязи задач проектирования, конструирования и эксплуатации  <b>ПКР-4.3:</b> Владеет современными технологиями компьютерного проектирования и моделирования</p>	<p><b>ПКР-4.1:</b>  Знает различные методы исследования линий передач электроэнергии и сигналов  Умеет использовать имеющиеся средства исследований в проектных работах.  Владеет способностями участвовать в проектных работах.</p> <p><b>ПКР-4.2:</b>  Знает различные методы исследования линий передач электроэнергии и сигналов  Умеет видеть взаимосвязи задач проектирования, конструирования и эксплуатации.  Владеет пониманием взаимосвязи задач проектирования, конструирования и эксплуатации.</p> <p><b>ПКР-4.3:</b>  Владеет пониманием взаимосвязи задач проектирования, конструирования и эксплуатации.</p>	<p>Практическое задание  Задачи</p>	<p>Зачёт:  Контрольные вопросы  Задачи</p>

### 3.1 Трудоемкость дисциплины

	очная	очно-заочная
<b>Общая трудоемкость, з.е.</b>	<b>3</b>	<b>3</b>
<b>Часов по учебному плану</b>	<b>108</b>	<b>108</b>
в том числе		
<b>аудиторные занятия (контактная работа):</b>		
- занятия лекционного типа	16	10
- занятия семинарского типа (практические занятия / лабораторные работы)	32	20
- КСР	1	1
самостоятельная работа	59	77
<b>Промежуточная аттестация</b>	<b>0</b>	<b>0</b>
	Зачёт	Зачёт

### 3.2. Содержание дисциплины

(структурированное по темам (разделам) с указанием отведенного на них количества академических часов и виды учебных занятий)

[illegible]

КСР	1	1					1	1		
Итого	108	108	16	10	32	20	49	31	59	77

### Содержание разделов и тем дисциплины

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

Энергетическая и электрическая системы. Техничко-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: P1, P2; 31, 32; 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.  $R_0$ ;  $X_0$ .внешн.;  $X_0$ .внутр.;  $b_0$ ;  $Q_c$ .

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  $\Delta W$  по графику нагрузки (метод графического интегрирования).

Определение  $\Delta W$  по методу времени наибольших потерь  $t$ . Модификация 1:  $\Delta p$ ,  $\Delta q$ . Модификация 2:  $2\Delta$ .

Схема подключения индукционного счётчика. Обработка

показаний, расчётный множитель. Определение  $\Delta W$  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 инцидентий.

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 ТЕ, ТМ и ТЕМ; 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 запираания. Критические частоты. Длина волны, фазовая и групповая скорости. Характеристический импеданс. Мощность, переносимая волной. Соотношения ортогональности и аддитивность потоков энергии парциальных волн. Условия существования главных (ТЕМ) 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 Бриллюэна).

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 (ТЕМ) 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 монохроматическими 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.

Практические занятия /лабораторные работы организуются, в том числе, в форме практической подготовки, которая предусматривает участие обучающихся в выполнении отдельных элементов работ, связанных с будущей профессиональной деятельностью.

На проведение практических занятий / лабораторных работ в форме практической подготовки отводится: очная форма обучения - 4 ч., очно-заочная форма обучения - 4 ч.

#### **4. Учебно-методическое обеспечение самостоятельной работы обучающихся**

Самостоятельная работа обучающихся включает в себя подготовку к контрольным вопросам и заданиям для текущего контроля и промежуточной аттестации по итогам освоения дисциплины приведенным в п. 5.

Для обеспечения самостоятельной работы обучающихся используются:

Электронные курсы, созданные в системе электронного обучения ННГУ:

-, -.

Открытые онлайн-курсы MOOC:

-, -.

Иные учебно-методические материалы:

-

#### **5. Фонд оценочных средств для текущего контроля успеваемости и промежуточной аттестации по дисциплине (модулю)**

**5.1 Типовые задания, необходимые для оценки результатов обучения при проведении текущего контроля успеваемости с указанием критериев их оценивания:**

**5.1.1 Типовые задания (оценочное средство - Практическое задание) для оценки сформированности компетенции ПКР-10:**

1) Общие свойства волн в линиях передачи с идеально проводящими границами.

Спектр поперечных волновых чисел. Дисперсионные уравнения. Режимы распространения и запираания. Кр

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 волно



свободном пространстве (концепция Бриллюэна).

### 5.1.2 Типовые задания (оценочное средство - Практическое задание) для оценки сформированности компетенции ПКР-4:

4) Описание главных (ТЕМ) волн в линии передачи в терминах тока и

напряжения. Эквивалентные погонные параметры и волновое сопротивление линии. Телеграфные уравнения. Отра

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.

### Критерии оценивания (оценочное средство - Практическое задание)

Оценка	Критерии оценивания
зачтено	Все компетенции (части компетенций), на формирование которых направлена дисциплина, сформированы
не зачтено	Хотя бы одна компетенция сформирована на уровне «неудовлетворительно», ни одна из компетенций не сформирована на уровне «плохо»

### 5.1.3 Типовые задания (оценочное средство - Задачи) для оценки сформированности компетенции ПКР-10:

Задача 5.

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

Задача 6.

Где и как надо располагать штырь с током, чтобы возбудить волну TE<sub>11</sub> в круглом волноводе?

Задача 7.

Нарисовать картину токов, наведённых в стенках круглого волновода волнами ТМ<sub>01</sub> и ТМ<sub>11</sub>.

Задача 8.

Нарисовать картину силовых линий электрического и магнитного полей колебания ТЕ<sub>011</sub>, возбуждённого 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 ТЕ<sub>10</sub>. Где и как следует прорезать измерительную щель в прямоугольном волноводе, в котором возбуждена данная волна?

Задача 10.

Нарисовать картину силовых линий мод ТЕ<sub>01</sub> и ТМ<sub>01</sub> в круглом волноводе. Задача 11.

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

Задача 12.

Где и как надо располагать виток с током, чтобы возбудить волну ТЕ<sub>11</sub> в круглом волноводе?

Задача 13.

Нарисовать картину токов, наведённых в стенках круглого волновода волнами ТМ<sub>01</sub> и ТМ<sub>11</sub>.

Задача 14.

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

Задача 15.

Нарисовать структуру поля волны ТЕ<sub>01</sub> в прямоугольном волноводе с поперечным сечением  $a \times b$  ( $a > b$ ) и круглом волноводе с радиусом поперечного сечения  $a$ .

#### **5.1.4 Типовые задания (оценочное средство - Задачи) для оценки сформированности компетенции ПКР-4:**

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 <sub>ном</sub> , кВ	Марка провода	Расчетный диаметр, мм	R <sub>0</sub> , Ом/км	Подвеска 1	Подвеска 2
1	10	6	АС-35/6,2	8,4	0,790	1,5; 1,5; 3,0	1,5; 1,5; 1,5
2	10	10	АС-50/8,0	9,6	0,603	2,0; 2,0; 3,0	2,0; 2,0; 4,0
3	10	6	АС-70/11	11,4	0,429	1,7; 1,7; 1,7	1,7; 1,7; 3,4
4	10	10	АС-70/12	15,4	0,428	2,2; 2,2; 2,2	2,2; 2,4; 2,6
5	10	6	АС-95/16	13,5	0,306	1,6; 1,6; 3,2	1,6; 1,6; 1,6
6	10	10	АС-35/6,2	8,4	0,790	2,0; 2,0; 4,0	2,0; 2,0; 3,0
7	10	6	АС-50/8,0	9,6	0,603	1,5; 1,5; 1,5	1,5; 1,5; 3,0
8	10	10	АС-70/11	11,4	0,429	2,2; 2,4; 2,6	2,2; 2,2; 2,2
9	10	6	АС-70/12	15,4	0,428	1,7; 1,7; 3,4	1,7; 1,7; 1,7
10	10	10	АС-95/16	13,5	0,306	1,9; 1,9; 1,9	1,9; 1,9; 3,8

#### 1. 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 <sub>ном</sub> , кВ	Число цепей, шт.	Длина, км	Расстояние между фазами, м	Параметры одной цепи	
					Марка провода	Расчетный диаметр, мм
1	220	2	130	8, 14, 8	АС-300/39	24,0
2	110	2	60	5, 7, 5	АС-70/32	15,4
3	220	2	180	8, 8, 8	АС-300/39	24,0
4	500	1	300	14, 14, 28	АС-300/39	24,0
5	110	2	120	5, 8, 5	АС-95/32	19,8

6	220	2	130	8, 16, 8	AC-300/39	24,0
7	110	2	100	5, 5, 5	AC-120/32	15,4
8	220	2	130	8, 14, 8	AC-400/39	27,5
9	110	2	50	5, 10, 5	AC-240/32	21,6

10	50	1	40	14, 14, 28	AC-300/39	24,0	0,098	3	50
----	----	---	----	------------	-----------	------	-------	---	----

1. Серия задач. Расчёт параметров схемы замещения цехового трансформатора. Выбрать схему замещения и определить её параметры для расчёта установившегося режима цехового трансформатора. Определить мощность потерь с использованием параметров схемы замещения. Исходные данные для расчёта 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., $P_x$ 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., $P_K$ кВт	5,50	7,60	11,0	16,5	26,0	12,2	5,50	7,60	12,2	16,5
Напряжение к.з., $u_k\%$ , %	4,5	5,5	5,5	5,5	5,5	8,0	5,5	6,5	5,5	5,5
Ток х.х., $I_x\%$ , %	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

--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--

### Критерии оценивания (оценочное средство - Задачи)

Оценка	Критерии оценивания
зачтено	Все компетенции (части компетенций), на формирование которых направлена дисциплина, сформированы
не зачтено	Хотя бы одна компетенция сформирована на уровне «неудовлетворительно», ни одна из компетенций не сформирована на уровне «плохо»

### 5.2. Описание шкал оценивания результатов обучения по дисциплине при промежуточной аттестации

#### Шкала оценивания сформированности компетенций

Уровень сформированности компетенций (индикатора достижения компетенций)	плохо	неудовлетворительно	удовлетворительно	хорошо	очень хорошо	отлично	превосходно
	не зачтено		зачтено				
<u>Знания</u>	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 ошибок	Уровень знаний в объеме, соответствующем программе подготовки. Допущено несколько негрубых ошибок	Уровень знаний в объеме, соответствующем программе подготовки. Допущено несколько несущественных ошибок	Уровень знаний в объеме, соответствующем программе подготовки. Ошибок нет.	Уровень знаний в объеме, превышающем программу подготовки.
<u>Умения</u>	Отсутствие минимальных умений. Невозможность оценить наличие умений вследствие отказа обучающегося от ответа	При решении стандартных задач не продемонстрированы основные умения. Имели место грубые ошибки	Продemonстрированы основные умения. Решены типовые задачи с негрубыми ошибками. Выполнены все задания, но не в полном объеме	Продemonстрированы все основные умения. Решены все основные задачи с негрубыми ошибками. Выполнены все задания в полном объеме, но некоторые с недочетами	Продemonстрированы все основные умения. Решены все основные задачи. Выполнены все задания в полном объеме, но некоторые с недочетами.	Продemonстрированы все основные умения. Решены все основные задачи с отдельными недочетами, выполнены все задания в полном	Продemonстрированы все основные умения. Решены все основные задачи. Выполнены все задания, в полном объеме без недочетов

						объеме	
<u>Навыки</u>	Отсутствие базовых навыков. Невозможность оценить наличие навыков вследствие отказа обучающегося от ответа	При решении стандартных задач не продемонстрированы базовые навыки. Имели место грубые ошибки	Имеется минимальный набор навыков для решения стандартных задач с некоторым и недочетами	Продемонстрированы базовые навыки при решении стандартных задач с некоторым и недочетами	Продемонстрированы базовые навыки при решении стандартных задач без ошибок и недочетов	Продемонстрированы навыки при решении нестандартных задач без ошибок и недочетов	Продемонстрирован творческий подход к решению нестандартных задач

### Шкала оценивания при промежуточной аттестации

Оценка		Уровень подготовки
зачтено	превосходно	Все компетенции (части компетенций), на формирование которых направлена дисциплина, сформированы на уровне не ниже «превосходно», продемонстрированы знания, умения, владения по соответствующим компетенциям на уровне выше предусмотренного программой
	отлично	Все компетенции (части компетенций), на формирование которых направлена дисциплина, сформированы на уровне не ниже «отлично».
	очень хорошо	Все компетенции (части компетенций), на формирование которых направлена дисциплина, сформированы на уровне не ниже «очень хорошо»
	хорошо	Все компетенции (части компетенций), на формирование которых направлена дисциплина, сформированы на уровне не ниже «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».
	плохо	Хотя бы одна компетенция сформирована на уровне «плохо»

### 5.3 Типовые контрольные задания или иные материалы, необходимые для оценки результатов обучения на промежуточной аттестации с указанием критериев их оценивания:

#### 5.3.1 Типовые задания (оценочное средство - Контрольные вопросы) для оценки сформированности компетенции ПКР-10

1) Общая характеристика энергосистем. Классификация электрических сетей.
2) Основные конструктивные элементы ВЛ электропередач.
3) Общие сведения о схемах замещения.

4) Расчёт и векторная диаграмма ЛЭП при заданном токе (мощности) нагрузки.
5) Расчётные нагрузки подстанций при расчётах УР.
6) Определение потери и падения напряжения в ЛЭП по известным мощности и напряжению в конце линии.
7) Расчет и векторная диаграмма сети из двух последовательных ЛЭП при заданных мощностях нагрузки и напряжении в конце.
8) Распределение потоков мощности и напряжений в простых замкнутых сетях.
9) Метод расщепления схем.
10) Представление ВЛ и КЛ в схемах замещения при расчётах УР.
11) Представление генераторов при расчётах УР.
12) Векторная диаграмма синхронного генератора в режиме перевозбуждения.
13) Представление нагрузок при расчётах УР.
14) Представление двухобмоточных трансформаторов в схемах замещения при расчётах УР.
15) Представление трансформаторов с расщепленными обмотками в схемах замещения при расчётах УР.
16) Представление трёхобмоточных трансформаторов в схемах замещения при расчётах УР.
17) Представление автотрансформаторов в схемах замещения при расчётах УР.
18) Представление реакторов в схемах замещения при расчётах УР.
19) Оценка активных сопротивлений трансформаторов и автотрансформаторов при числе обмоток более двух.

20) Влияние распределения нагрузок по обмоткам многообмоточных трансформаторов и АТ на выбор схемы замещения при расчетах УР.
21) Методы и средства контроля технического состояния и эксплуатации электроэнергетических систем и сетей.
22) Общие свойства волн в линиях передачи с идеально проводящими границами. Спектр поперечных волновых чисел.
23) Дисперсионные уравнения. Режимы распространения и записания. Критические частоты.

### 5.3.2 Типовые задания (оценочное средство - Контрольные вопросы) для оценки сформированности компетенции ПКР-4

24) Линии передачи с идеально проводящими границами. Критические частоты. Длина волны, фазовая и групповая. Характеристический импеданс. Мощность, переносимая волной.
25) Соотношения ортогональности и аддитивность потоков энергии парциальных волн. Условия существования главных (ТЕМ) волн. Применение теории линий передачи и резонаторов.
26) Классификация направляемых волн и линий передачи. Волны типов ТЕ, ТМ и ТЕМ; гибридные волны; быстрые открытые и закрытые линии передачи.
27) Прямоугольный волновод. Дисперсионное соотношение, критические частоты и длины волн. Структура поля волн низших типов.
28) Представление полей волновых мод в виде суперпозиции плоских волн в свободном пространстве (концепция Бетховена) теории линий передачи и резонаторов.
29) Критическая частота и критическая длина волны прямоугольного волновода с поперечным сечением $a \times b$ .

### Критерии оценивания (оценочное средство - Контрольные вопросы)

Оценка	Критерии оценивания
зачтено	Все компетенции (части компетенций), на формирование которых направлена дисциплина, сформированы



Оценка	Критерии оценивания
не зачтено	Хотя бы одна компетенция сформирована на уровне «неудовлетворительно», ни одна из компетенций не сформирована на уровне «плохо»

### 5.3.3 Типовые задания (оценочное средство - Тест) для оценки сформированности компетенции ПКР-10

<p>1. Дисперсионное уравнение для волн в волноводе можно записать в виде</p> <p>1) <math>k^2 = h^2 + \kappa^2</math>  2) <math>l_g = 2p / h</math>  3) <math>k = w / c</math></p> <p>Обозначения: <math>l_g</math> – длина волны в волноводе, <math>h</math> – продольное волновое число, <math>k</math> – волновое число плоской волны в вакууме, <math>\kappa</math> – поперечное волновое число</p>	<p>2. Длина волны в прямоугольном волноводе с размерами поперечного сечения <math>a</math> и <math>b</math> для мод <math>TE_{10}</math> и <math>TE_{01}</math> равна</p> <p>1) нулю  2) <math>l_g = 2p / h</math>  3) <math>l_g = 2p / a</math></p> <p>Обозначения: <math>l_g</math> – длина волны в волноводе, <math>h</math> – продольное волновое число</p>
<p>3. Собственные колебания в прямоугольном резонаторе с внутренними размерами <math>a</math>, <math>b</math>, <math>d</math> (<math>a &gt; b &gt; d</math>) могут происходить только на частотах</p> <p>1. <math>w_{mnp} = c p \sqrt{(m/a)^2 + (n/b)^2}</math></p> <p>1. <math>w_{mnp} = c p m / a</math>  1. на любых частотах</p> <p>Здесь <math>m</math>, <math>n</math>, <math>p</math> – целые числа, одно из которых может быть равно нулю</p>	<p>4. Низшей модой прямоугольного волновода с размерами поперечного сечения <math>a</math> и <math>b</math> является</p> <p>1) <math>TM_{111}</math>  1. <math>TE_{35}</math>  2. <math>TE_{10}</math></p>
<p>5. Волновое сопротивление линии передачи в терминах тока и напряжения равно</p> <p>1. отношению амплитуды напряжения к амплитуде тока в бегущей волне  1. нулю  2. импедансу емкости</p>	<p>6. Коэффициент отражения от нагрузки на конце линии равен</p> <p>1. нагрузке согласована с линией  2. всегда  3. никогда</p>

### Критерии оценивания (оценочное средство - Тест)

Оценка	Критерии оценивания
зачтено	Все компетенции (части компетенций), на формирование которых направлена дисциплина, сформированы
не зачтено	Хотя бы одна компетенция сформирована на уровне «неудовлетворительно», ни одна из компетенций не сформирована на уровне «плохо»

### 5.3.4 Типовые задания (оценочное средство - Задачи) для оценки сформированности компетенции ПКР-4

#### Задача 1.

В прямоугольном волноводе с поперечным сечением  $a \times b$ , заполненном диэлектриком с проницаемостями  $\epsilon$  и  $\mu$ , распространяется мода ТМ<sub>22</sub> с частотой  $\omega$ . Найти критическую длину волны и волновое сопротивление.

#### Задача 2.

В прямоугольном волноводе с поперечным сечением  $a \times b$ , заполненном диэлектриком с проницаемостями  $\epsilon$  и  $\mu$ , распространяется мода ТМ<sub>11</sub> с частотой  $\omega$ . Найти критическую длину волны и волновое сопротивление.

#### Задача 3.

Найти коэффициент возбуждения колебания ТЕ<sub>011</sub>, создаваемого в прямоугольном резонаторе током  $j\hat{x} = I_0 d(y - y_0) d(z - z_0) e^{i\omega t}$  ( $0 \leq x \leq l < a$ ). Размеры резонатора  $a \times b \times L$  ( $a < b < L$ ),  $\omega \gg \omega_{011}$  ( $\omega_{011}$  - собственная частота колебания ТЕ<sub>011</sub>).

#### Задача 4.

В прямоугольном волноводе с поперечным сечением  $a \times b$  ( $a > b$ ), заполненном диэлектриком с проницаемостями  $\epsilon$  и  $\mu$ , распространяется низшая мода с частотой  $\omega$ . 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  $\epsilon$  и  $\mu$ , распространяется волна ТЕ<sub>32</sub> с частотой  $\omega$ . 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  $\epsilon$  и  $\mu$ . Определить длину волны и волновое сопротивление моды ТЕ<sub>01</sub>, распространяющейся на частоте  $\omega$ .

Задача 7.

Определить добротность колебаний типа TE<sub>011</sub> в резонаторе с размерами  $a \times b \times L$  ( $a < b < L$ ), заполненном диэлектриком с диэлектрической проницаемостью  $\epsilon$  и тангенсом угла потерь  $\operatorname{tg}\delta$ .

Задача 8.

В прямоугольном волноводе с поперечным сечением  $a \times b$ , заполненном диэлектриком с проницаемостями  $\epsilon$  и  $\mu$ , распространяется мода TM<sub>22</sub> с частотой  $\omega$ . 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  $\epsilon$  и  $\mu$ , распространяется мода TM<sub>11</sub> с частотой  $\omega$ . Найти длину волны в волноводе и фазовую скорость.

### Критерии оценивания (оценочное средство - Задачи)

Оценка	Критерии оценивания
зачтено	Все компетенции (части компетенций), на формирование которых направлена дисциплина, сформированы
не зачтено	Хотя бы одна компетенция сформирована на уровне «неудовлетворительно», ни одна из компетенций не сформирована на уровне «плохо»

### 6. Учебно-методическое и информационное обеспечение дисциплины (модуля)

Основная литература:

1. Лыкин А. В. Электрические системы и сети : учебник / Лыкин А. В. - Новосибирск : НГТУ, 2017. - 363 с. - Библиогр.: доступна в карточке книги, на сайте ЭБС Лань. - Книга из коллекции

НГТУ - Инженерно-технические науки. - ISBN 978-5-7782-3037-8.,

<https://e-lib.unn.ru/MegaPro/UserEntry?Action=FindDocs&ids=720558&idb=0>.

2. Климова Галина Николаевна. Электрические системы и сети. Энергосбережение : Учебное пособие Для СПО / Климова Г. Н. - 2-е изд. - Москва : Юрайт, 2021. - 179 с. - (Профессиональное образование). - ISBN 978-5-534-10362-5. - Текст : электронный // ЭБС "Юрайт"., <https://e-lib.unn.ru/MegaPro/UserEntry?Action=FindDocs&ids=759240&idb=0>.

3. Ананичева Светлана Семеновна. Электрические системы и сети. Примеры и задачи : Учебное пособие Для СПО / Ананичева С. С., Шелюг С. Н. ; под науч. ред. Котовой Е.Н. - 2-е изд. - Москва : Юрайт, 2021. - 179 с. - (Профессиональное образование). - ISBN 978-5-534-10375-5. - Текст : электронный // ЭБС "Юрайт"., <https://e-lib.unn.ru/MegaPro/UserEntry?Action=FindDocs&ids=767459&idb=0>.

#### Дополнительная литература:

1. Ушаков В. Я. Электрические системы и сети / Ушаков В. Я. - Москва : Юрайт, 2022. - 446 с. - (Профессиональное образование). - URL: <https://urait.ru/bcode/495321> (дата обращения: 05.01.2022). - ISBN 978-5-534-10365-6 : 1349.00. - Текст : электронный // ЭБС "Юрайт"., <https://e-lib.unn.ru/MegaPro/UserEntry?Action=FindDocs&ids=788045&idb=0>.

2. Электрические системы и сети. Установившиеся режимы электрических сетей : Учебное пособие / Новосибирский государственный технический университет. - Новосибирск : Новосибирский государственный технический университет (НГТУ), 2020. - 98 с. - ВО - Бакалавриат. - ISBN 978-5-7782-4204-3., <https://e-lib.unn.ru/MegaPro/UserEntry?Action=FindDocs&ids=833318&idb=0>.

#### Программное обеспечение и Интернет-ресурсы (в соответствии с содержанием дисциплины):

программное обеспечение лицензионное и свободно распространяемое

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

#### 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](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](http://www.znanium.com)

д) профессиональные базы данных и информационные справочные системы

Радиоэлектроника [http://window.edu.ru/catalog/resources?p\\_str=Радиоэлектроника](http://window.edu.ru/catalog/resources?p_str=Радиоэлектроника)  
Список сайтов по радиоэлектронике <http://radiostorage.net/page/3-spisok-sajtov-po-radioelektronike.html>

Банк изобретений, технологий и научных открытий: <http://www.ntpo.com>  
Научная электронная библиотека [www.elibrary.ru](http://www.elibrary.ru)  
База данных ВИНТИ РАН <http://www.viniti.ru/>  
База данных рецензируемой литературы Scopus <https://www.scopus.com>  
База данных Web of Science <https://apps.webofknowledge.com>  
ГАРАНТ. Информационно-правовой-портал <http://www.garant.ru/>  
Правовая система «Консультант плюс»

## **7. Материально-техническое обеспечение дисциплины (модуля)**

Учебные аудитории для проведения учебных занятий, предусмотренных образовательной программой, оснащены мультимедийным оборудованием (проектор, экран), техническими средствами обучения, компьютерами.

Помещения для самостоятельной работы обучающихся оснащены компьютерной техникой с возможностью подключения к сети "Интернет" и обеспечены доступом в электронную информационно-образовательную среду.

Программа составлена в соответствии с требованиями ОС ННГУ по направлению подготовки/специальности 13.03.02 - Электроэнергетика и электротехника.

Автор(ы): Богатырева Анна Валерьевна, кандидат технических наук.

Заведующий кафедрой: Беянин Игорь Владимирович, кандидат технических наук.

Программа одобрена на заседании методической комиссии от 12.01.24, протокол № 5.