

Министерство науки и высшего образования РФ
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования
«Национальный исследовательский университет «МЭИ»

Направление подготовки/специальность: 13.04.02 Электроэнергетика и электротехника

Наименование образовательной программы: Моделирование в электроэнергетике и электротехнике

Уровень образования: высшее образование - магистратура

Форма обучения: Очная

Рабочая программа дисциплины
МОДЕЛИРОВАНИЕ ВЫСОКОВОЛЬТНЫХ ЭЛЕКТРОУСТАНОВОК В
ЭЛЕКТРОЭНЕРГЕТИКЕ


| | |
|---|--|
| Блок: | Блок 1 «Дисциплины (модули)» |
| Часть образовательной программы: | Часть, формируемая участниками образовательных отношений |
| № дисциплины по учебному плану: | Б1.Ч.02 |
| Трудоемкость в зачетных единицах: | 3 семестр - 6; |
| Часов (всего) по учебному плану: | 216 часов |
| Лекции | 3 семестр - 32 часа; |
| Практические занятия | 3 семестр - 32 часа; |
| Лабораторные работы | 3 семестр - 16 часов; |
| Консультации | 3 семестр - 18 часов; |
| Самостоятельная работа | 3 семестр - 113,2 часов; |
| в том числе на КП/КР | 3 семестр - 16 часов; |
| Иная контактная работа | 3 семестр - 4 часа; |
| включая: Домашнее задание Лабораторная работа | |
| Промежуточная аттестация: | |
| Защита курсовой работы | 3 семестр - 0,3 часа; |
| Экзамен | 3 семестр - 0,5 часа; |
| | всего - 0,8 часа |

Москва 2021

ПРОГРАММУ СОСТАВИЛ:

Преподаватель

(должность)

| | | |
|---|---|------------------------------|
|  | Подписано электронной подписью ФГБОУ ВО «НИУ «МЭИ» | |
| | Сведения о владельце ЦЭП МЭИ | |
| | Владелец | Матвеев Д.А. |
| | Идентификатор | Rcb243d05-MatveevDA-f9ddc1fa |

(подпись)


Д.А. Матвеев

(расшифровка
подписи)

СОГЛАСОВАНО:

Руководитель
образовательной программы

(должность, ученая степень, ученое звание)

| | | |
|---|---|------------------------------|
|  | Подписано электронной подписью ФГБОУ ВО «НИУ «МЭИ» | |
| | Сведения о владельце ЦЭП МЭИ | |
| | Владелец | Козьмина И.С. |
| | Идентификатор | Ra036a963-KozminaIS-f85c8f2a |

(подпись)

И.С. Козьмина

(расшифровка
подписи)

Заведующий выпускающей
кафедры

(должность, ученая степень, ученое звание)

| | | |
|---|---|-----------------------------|
|  | Подписано электронной подписью ФГБОУ ВО «НИУ «МЭИ» | |
| | Сведения о владельце ЦЭП МЭИ | |
| | Владелец | Тулский В.Н. |
| | Идентификатор | R292b173d-TulskyVN-7e812984 |

(подпись)

В.Н. Тульский

(расшифровка
подписи)

1. ЦЕЛИ И ЗАДАЧИ ОСВОЕНИЯ ДИСЦИПЛИНЫ

Цель освоения дисциплины: Приобретение знаний и навыков по применению современных методов математического моделирования для проектирования, эксплуатации, диагностики и экспертизы высоковольтных электроустановок в электроэнергетике

Задачи дисциплины

- Изучение принципов построения и алгоритмов компьютерных программ для моделирования электромагнитных переходных процессов в электроустановках при проектировании, эксплуатации, диагностике и экспертизе высоковольтных электроустановок;
- Приобретение знаний и навыков формирования математических моделей силовых и измерительных трансформаторов на основе принципа дуальности электрических и магнитных цепей для анализа низко- и среднечастотных переходных процессов в электроустановках;
- Приобретение знаний и навыков формирования высокочастотных математических моделей электрооборудования;
- Формирование представлений о широкополосных математических моделях электрооборудования, учитывающих нелинейность и частотную зависимость их параметров;
- Приобретение знаний и навыков моделирования электрической дуги в электроустановках;
- Изучение метода конечных элементов для моделирования электромагнитных полей в электроустановках и для расчета параметров схем замещения электрооборудования.

Формируемые у обучающегося **компетенции** и запланированные **результаты обучения** по дисциплине, соотнесенные с **индикаторами достижения компетенций**:

| Код и наименование компетенции | Код и наименование индикатора достижения компетенции | Запланированные результаты обучения |
|---|--|---|
| ПК-2 Способность принимать участие в решении исследовательских задач в рамках реализации научного проекта | ИД-4 _{ПК-2} Знает информационные технологии, используемые в науке и технике | знать: - Принципы построения и алгоритмы современных компьютерных программ для численного моделирования электромагнитных переходных процессов. уметь: - Составлять схемы замещения основного электрооборудования высоковольтных распределительных устройств и рассчитывать их параметры. |
| ПК-3 Способность принимать участие в математическом и компьютерном моделировании в электроэнергетике и электротехнике | ИД-3 _{ПК-3} Знает и применяет на практике современные языки программирования для анализа, моделирования электроустановок в электроэнергетике и машинного обучения | знать: - Методы численного моделирования электрической дуги. уметь: - Составлять расчетные модели электрической дуги для её численного моделирования в программах расчета электромагнитных переходных процессов. |
| ПК-3 Способность принимать участие в математическом и компьютерном | ИД-6 _{ПК-3} Использует в профессиональной деятельности методы моделирования состояния и | знать: - Принципы построения и методы расчета параметров широкополосных моделей трансформаторного |

| Код и наименование компетенции | Код и наименование индикатора достижения компетенции | Запланированные результаты обучения |
|---|--|--|
| моделировании в электроэнергетике и электротехнике | работы высоковольтного электрооборудования | <p>оборудования;</p> <ul style="list-style-type: none"> - Волновую теорию электромагнитных переходных процессов в воздушных и кабельных линиях электропередачи и метод векторной аппроксимации её частотных характеристик; - Методы построения и расчета параметров низкочастотных математических моделей трансформаторного оборудования. <p>уметь:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Рассчитывать параметры низкочастотных математических моделей трансформаторного оборудования; - Рассчитывать частотные характеристики многопроводных воздушных и кабельных линий электропередачи и применять метод векторной аппроксимации для их численного моделирования; - Рассчитывать параметры широкополосных моделей трансформаторного оборудования. |
| ПК-3 Способность принимать участие в математическом и компьютерном моделировании в электроэнергетике и электротехнике | ИД-8 _{ПК-3} Применяет в профессиональной деятельности современные методы и средства визуализации данных | <p>знать:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Теорию и этапы программного реализации метода конечных элементов для расчета двух- и трехмерных электромагнитных полей. <p>уметь:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Применять метод конечных элементов для расчета двух- и трехмерных электромагнитных полей. |

2. МЕСТО ДИСЦИПЛИНЫ В СТРУКТУРЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЙ ПРОГРАММЫ ВО

Дисциплина относится к основной профессиональной образовательной программе Моделирование в электроэнергетике и электротехнике (далее – ОПОП), направления подготовки 13.04.02 Электроэнергетика и электротехника, уровень образования: высшее образование - магистратура.

Базируется на уровне среднего общего образования.

Результаты обучения, полученные при освоении дисциплины, необходимы при выполнении выпускной квалификационной работы.

3. СТРУКТУРА И СОДЕРЖАНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ

3.1 Структура дисциплины

Общая трудоемкость дисциплины составляет 6 зачетных единиц, 216 часов.

| № п/п | Разделы/темы дисциплины/формы промежуточной аттестации | Всего часов на раздел | Семестр | Распределение трудоемкости раздела (в часах) по видам учебной работы | | | | | | | | | | Содержание самостоятельной работы/ методические указания |
|-------|---|-----------------------|---------|--|-----|----|--------------|---|-----|----|----|-------------------|-----------------------------------|--|
| | | | | Контактная работа | | | | | | | СР | | | |
| | | | | Лек | Лаб | Пр | Консультация | | ИКР | | ПА | Работа в семестре | Подготовка к аттестации /контроль | |
| КПР | ГК | ИККП | ТК | | | | | | | | | | | |
| 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 | 13 | 14 | 15 |
| 1 | Основы построения компьютерных программ для численного моделирования электромагнитных процессов в электрических сетях | 18 | 3 | 4 | - | 4 | - | - | - | - | - | 10 | - | <p><u>Подготовка курсовой работы:</u> Курсовая работа представлена в виде крупной задачи по учебному кейсу, охватывающей несколько расчетных вопросов и выбор варианта проектного решения. Задание: Составить схему замещения распределительного устройства и рассчитать её параметры.</p> <p><u>Подготовка к практическим занятиям:</u> Изучение материала по разделу "Основы построения компьютерных программ для численного моделирования электромагнитных процессов в электрических сетях" подготовка к выполнению заданий на практических занятиях</p> <p><u>Подготовка к аудиторным занятиям:</u> Проработка лекций</p> <p><u>Самостоятельное изучение теоретического материала:</u> Изучение дополнительного материала по разделу "Основы построения компьютерных программ для численного моделирования электромагнитных процессов в электрических сетях"</p> <p><u>Изучение материалов литературных источников:</u></p> |
| 1.1 | Основы построения компьютерных программ для численного моделирования электромагнитных процессов в электрических сетях | 18 | | 4 | - | 4 | - | - | - | - | - | - | 10 | |

[5], стр. 34-48

| | | | | | | | | | | | | | | |
|-----|--|----|---|---|---|---|---|---|---|---|----|---|---|--|
| | | | | | | | | | | | | | | [6], стр. 133-147 [7], стр. 213-228 |
| 2 | Низкочастотные математические модели трансформаторного оборудования | 22 | 4 | 4 | 4 | - | - | - | - | - | 10 | - | - | <u>Самостоятельное изучение теоретического материала:</u> Изучение дополнительного материала по разделу "Низкочастотные математические модели трансформаторного оборудования" |
| 2.1 | Низкочастотные математические модели трансформаторного оборудования | 22 | 4 | 4 | 4 | - | - | - | - | - | 10 | - | - | <u>Подготовка к практическим занятиям:</u> Изучение материала по разделу "Низкочастотные математические модели трансформаторного оборудования" подготовка к выполнению заданий на практических занятиях <u>Подготовка к аудиторным занятиям:</u> Проработка лекции, выполнение и подготовка к защите лаб. работы <u>Подготовка к лабораторной работе:</u> Для выполнения заданий по лабораторной работе необходимо предварительно изучить тему и задачи выполнения лабораторной работы, а так же изучить вопросы вариантов обработки результатов по изученному в разделе "Низкочастотные математические модели трансформаторного оборудования" материалу. <u>Изучение материалов литературных источников:</u> [2], стр. 115-168 |
| 3 | Математическое моделирование высокочастотных процессов в электроустановках | 32 | 8 | 4 | 8 | - | - | - | - | - | 12 | - | - | <u>Подготовка к аудиторным занятиям:</u> Проработка лекции, выполнение и подготовка к защите лаб. работы <u>Самостоятельное изучение теоретического материала:</u> Изучение дополнительного материала по разделу "Математическое моделирование высокочастотных процессов в электроустановках" |
| 3.1 | Математическое моделирование высокочастотных процессов в электроустановках | 32 | 8 | 4 | 8 | - | - | - | - | - | 12 | - | - | <u>Подготовка к практическим занятиям:</u> Изучение материала по разделу |

| | | | | | | | | | | | | | | |
|-----|--|----|---|---|---|---|---|---|---|---|----|---|--|---|
| | | | | | | | | | | | | | | <p>"Математическое моделирование высокочастотных процессов в электроустановках" подготовка к выполнению заданий на практических занятиях</p> <p><u>Подготовка курсовой работы:</u> Курсовая работа представлена в виде крупной задачи по учебному кейсу, охватывающей несколько расчетных вопросов и выбор варианта проектного решения. Задание: Выполнить тестирование и отладку высокочастотных моделей воздушных и кабельных линий распределительного устройства</p> <p><u>Подготовка к лабораторной работе:</u> Для выполнения заданий по лабораторной работе необходимо предварительно изучить тему и задачи выполнения лабораторной работы, а так же изучить вопросы вариантов обработки результатов по изученному в разделе "Математическое моделирование высокочастотных процессов в электроустановках" материалу.</p> <p><u>Изучение материалов литературных источников:</u> [2], стр. 43-105</p> |
| 4 | Широкополосные модели трансформаторного оборудования | 28 | 8 | 4 | 4 | - | - | - | - | - | 12 | - | <p><u>Самостоятельное изучение теоретического материала:</u> Изучение дополнительного материала по разделу "Широкополосные модели трансформаторного оборудования"</p> | |
| 4.1 | Широкополосные модели трансформаторного оборудования | 28 | 8 | 4 | 4 | - | - | - | - | - | 12 | - | <p><u>Подготовка к практическим занятиям:</u> Изучение материала по разделу "Широкополосные модели трансформаторного оборудования" подготовка к выполнению заданий на практических занятиях</p> <p><u>Подготовка курсовой работы:</u> Курсовая работа представлена в виде крупной задачи</p> | |

| | | | | | | | | | | | | | | | |
|-----|---|------|--|---|---|---|---|---|---|---|---|-----|---|--|---|
| | | | | | | | | | | | | | | | по учебному кейсу, охватывающей несколько расчетных вопросов и выбор варианта проектного решения. Задание: Выполнить тестирование и отладку широкополосной модели силового трансформатора. Осуществить расчет высокочастотных резонансных переходных процессов в силовом трансформаторе совместно с распределительным устройством, сделать выводы о допустимости воздействий на продольную изоляцию трансформатора <u>Подготовка к аудиторным занятиям:</u> Проработка лекции, выполнение и подготовка к защите лаб. работы <u>Подготовка к лабораторной работе:</u> Для выполнения заданий по лабораторной работе необходимо предварительно изучить тему и задачи выполнения лабораторной работы, а так же изучить вопросы вариантов обработки результатов по изученному в разделе "Широкополосные модели трансформаторного оборудования" материалу. <u>Изучение материалов литературных источников:</u> [1], стр. 120-132 [4], 3-34 |
| 5 | Математическое моделирование электрической дуги | 25.7 | | 4 | 4 | 8 | - | - | - | - | - | 9.7 | - | <u>Самостоятельное изучение теоретического материала:</u> Изучение дополнительного материала по разделу "Математическое моделирование электрической дуги" | |
| 5.1 | Математическое моделирование электрической дуги | 25.7 | | 4 | 4 | 8 | - | - | - | - | - | 9.7 | - | <u>Подготовка к практическим занятиям:</u> Изучение материала по разделу "Математическое моделирование электрической дуги" подготовка к выполнению заданий на практических занятиях | |

| | | | | | | | | | | | | | |
|-----|--|-------|----|----|----|----|---|---|---|-----|-------|------|---|
| | | | | | | | | | | | | | <u>Подготовка к аудиторным занятиям:</u> Проработка лекции, выполнение и подготовка к защите лаб. работы <u>Подготовка к лабораторной работе:</u> Для выполнения заданий по лабораторной работе необходимо предварительно изучить тему и задачи выполнения лабораторной работы, а так же изучить вопросы вариантов обработки результатов по изученному в разделе "Математическое моделирование электрической дуги" материалу. |
| 6 | Метод конечных элементов и его применение для моделирования электромагнитных полей | 18 | 4 | - | 4 | - | - | - | - | - | 10 | - | <u>Подготовка домашнего задания:</u> Выполнение домашнего задания "Конечно-элементный расчет параметров схемы замещения силового трансформатора" <u>Подготовка к аудиторным занятиям:</u> Проработка лекции, выполнение и подготовка к защите лаб. работы |
| 6.1 | Метод конечных элементов и его применение для моделирования электромагнитных полей | 18 | 4 | - | 4 | - | - | - | - | - | 10 | - | <u>Подготовка к практическим занятиям:</u> Изучение материала по разделу "Метод конечных элементов и его применение для моделирования электромагнитных полей" подготовка к выполнению заданий на практических занятиях <u>Самостоятельное изучение теоретического материала:</u> Изучение дополнительного материала по разделу "Метод конечных элементов и его применение для моделирования электромагнитных полей" <u>Изучение материалов литературных источников:</u> [3], стр. 9-65, 105-133, 181-199 |
| | Экзамен | 36.0 | - | - | - | - | 2 | - | - | 0.5 | - | 33.5 | |
| | Курсовая работа (КР) | 36.3 | - | - | - | 16 | - | 4 | - | 0.3 | 16 | - | |
| | Всего за семестр | 216.0 | 32 | 16 | 32 | 16 | 2 | 4 | - | 0.8 | 79.7 | 33.5 | |
| | Итого за семестр | 216.0 | 32 | 16 | 32 | 18 | | 4 | | 0.8 | 113.2 | | |

Примечание: Лек – лекции; Лаб – лабораторные работы; Пр – практические занятия; КПр – аудиторные консультации по курсовым проектам/работам; ИККП – индивидуальные консультации по курсовым проектам/работам; ГК- групповые консультации по разделам дисциплины; СР – самостоятельная работа студента; ИКР – иная контактная работа; ТК – текущий контроль; ПА – промежуточная аттестация

3.2 Краткое содержание разделов

1. Основы построения компьютерных программ для численного моделирования электромагнитных процессов в электрических сетях

1.1. Основы построения компьютерных программ для численного моделирования электромагнитных процессов в электрических сетях

Обзор современных и перспективных задач математического моделирования при конструировании электрооборудования и проектировании электроустановок. Принципы построения и алгоритмы компьютерных программ для моделирования электромагнитных переходных процессов в электроустановках. Схемы замещения основного электрооборудования распределительных устройств и их применение в компьютерных программах..

2. Низкочастотные математические модели трансформаторного оборудования

2.1. Низкочастотные математические модели трансформаторного оборудования

Математические модели трансформаторного оборудования, основанные на принципе дуальности электрических и магнитных цепей. Учет нелинейности характеристики намагничивания магнитопровода, гистерезиса, технологических аспектов изготовления активной части трансформатора. Подходы к моделированию пусковых режимов силовых трансформаторов и феррорезонансных явлений в сетях с измерительными трансформаторами напряжения..

3. Математическое моделирование высокочастотных процессов в электроустановках

3.1. Математическое моделирование высокочастотных процессов в электроустановках

Частотные зависимости параметров основного электрооборудования распределительных устройств. Электромагнитная теория волновых процессов в воздушных и кабельных линиях электропередачи. Техника векторной аппроксимации частотных характеристик и ее применение в построении частотно-зависимых моделей трансформаторов, воздушных и кабельных линий. Моделирование низкочастотных и высокочастотных процессов в многопроводных кабельных линиях. Потери и перенапряжения в экранях кабелей.

4. Широкополосные модели трансформаторного оборудования

4.1. Широкополосные модели трансформаторного оборудования

Развитие дуальных моделей трансформаторов и реакторов для отражения высокочастотных процессов. Учет паразитных емкостей и индуктивностей при построении моделей. Широкополосные модели силовых и измерительных трансформаторов в задачах моделирования высокочастотных перенапряжений и преобразовательных установок силовой электроники.

5. Математическое моделирование электрической дуги

5.1. Математическое моделирование электрической дуги

Моделирование газоразрядных явлений в электроустановках. Математические модели вакуумных и элегазовых выключателей. Отключающая способность выключателей. Срезы тока. Моделирование искровых и дуговых замыканий. Перекрытия гирлянд изоляторов при ударах молнии в ВЛ, однофазные дуговые замыкания на землю в распределительных сетях..

6. Метод конечных элементов и его применение для моделирования электромагнитных полей

6.1. Метод конечных элементов и его применение для моделирования электромагнитных полей

Метод конечных элементов: вариационные постановки задач, симплексы, формирование и обзор методов решения систем уравнений, генераторы сеток, постобработка результатов расчета. Расчет емкостей и индуктивностей схем замещения электрооборудования методами конечных элементов. Моделирование полевых воздействий на изоляцию электрооборудования..

3.3. Темы практических занятий

1. Численное моделирование перекрытия гирлянды воздушной линии электропередачи при ударе молнии;
2. Численное моделирование однофазного дугового замыкания в распределительной сети;
3. Численное моделирование вакуумного выключателя в схеме электроснабжения трансформаторной нагрузки для расчета перенапряжений при повторных зажиганиях дуги;
4. Численное моделирование вакуумных и элегазовых выключателей для оценки отключающей способности;
5. Численное моделирование переходных процессов в обмотках силового трансформатора;
6. Формирование широкополосной модели силового трансформатора;
7. Численное моделирование переходных процессов в кабельных линиях электропередачи;
8. Расчет частотных характеристик кабельных линий электропередачи;
9. Расчет емкостей и индуктивностей трансформатора методами конечных элементов;
10. Расчет частотных характеристик многопроводных воздушных линий электропередачи;
11. Численное моделирование пусковых режимов силовых трансформаторов;
12. Формирование и расчет параметров дуальных схем замещения трансформаторов;
13. Расчет параметров схем замещения основного электрооборудования распределительных устройств;
14. Формирование матрицы системы дифференциальных уравнений для расчета переходного процесса в электрической сети;
15. Численное моделирование переходных процессов в многопроводных воздушных линиях электропередачи;
16. Расчет распределения электрического поля в изоляционной конструкции методом конечных элементов.

3.4. Темы лабораторных работ

1. Численное моделирование феррорезонансных явлений в схемах с измерительными трансформаторами напряжения;
2. Численное моделирование многопроводных кабельных линий для расчета потерь в них;
3. Численное моделирование импульсных переходных процессов в обмотках силовых трансформаторов;
4. Численное моделирование однофазного дугового замыкания в распределительной сети с изолированной нейтралью.

3.5 Консультации

Аудиторные консультации по курсовому проекту/работе (КПР)

1. Консультации направлены на выполнение разделов курсового проекта под руководством наставника (преподавателя). В рамках часов на групповые консультации разбираются наиболее важные части расчетных заданий раздела "Математическое моделирование высокочастотных процессов в электроустановках"
2. Консультации направлены на выполнение разделов курсового проекта под руководством наставника (преподавателя). В рамках часов на групповые консультации разбираются наиболее важные части расчетных заданий раздела "Широкополосные модели трансформаторного оборудования"

Групповые консультации по разделам дисциплины (ГК)

1. Обсуждение материалов по кейсам раздела "Основы построения компьютерных программ для численного моделирования электромагнитных процессов в электрических сетях"
2. Обсуждение материалов по кейсам раздела "Низкочастотные математические модели трансформаторного оборудования"
3. Обсуждение материалов по кейсам раздела "Математическое моделирование высокочастотных процессов в электроустановках"
4. Обсуждение материалов по кейсам раздела "Широкополосные модели трансформаторного оборудования"
5. Обсуждение материалов по кейсам раздела "Математическое моделирование электрической дуги"
6. Обсуждение материалов по кейсам раздела "Метод конечных элементов и его применение для моделирования электромагнитных полей"

3.6 Тематика курсовых проектов/курсовых работ 3 Семестр

Курсовая работа (КР)

Темы:

- Принципы построения и алгоритмы компьютерных программ для моделирования электромагнитных переходных процессов в электроустановках. Схемы замещения основного электрооборудования распределительных устройств и их применение в компьютерных программах. Частотные зависимости параметров основного электрооборудования распределительных устройств. Электромагнитная теория волновых процессов в воздушных и кабельных линиях электропередачи. Техника векторной аппроксимации частотных характеристик и ее применение в построении частотно-зависимых моделей трансформаторов, воздушных и кабельных линий. Моделирование высокочастотных процессов в многопроводных линиях с распределенными параметрами. Широкополосные модели силовых в задачах моделирования высокочастотных перенапряжений. Учет паразитных емкостей и индуктивностей при построении моделей трансформаторов.

График выполнения курсового проекта

| Неделя | 1 - 8 | 9 - 12 | 13 - 14 | Зачетная |
|--------------------------|-------|--------|---------|--------------------------|
| Раздел курсового проекта | 1 | 2 | 3 | Защита курсового проекта |
| Объем раздела, % | 40 | 40 | 20 | - |
| Выполненный объем | 40 | 80 | 100 | - |

| | | | | |
|--------------------------|--|--|--|--|
| нарастающим итогом, % | | | | |
|--------------------------|--|--|--|--|

| Номер раздела | Раздел курсового проекта |
|---------------|--|
| 1 | Составление схемы замещения распределительного устройства 500 кВ. Расчет параметров широкополосных моделей силового трансформатора, токопровода и коммутационного оборудования |
| 2 | Численное моделирование переходных процессов в обмотках трансформатора при коротких замыканиях в распределительном устройстве |
| 3 | Определение возможности возникновения в трансформаторе высокочастотных резонансных перенапряжений и разработка рекомендаций по снижению вероятности их возникновения, опасных для изоляции трансформатора. |

3.7. Соответствие разделов дисциплины и формируемых в них компетенций

| Запланированные результаты обучения по дисциплине (в соответствии с разделом 1) | Коды индикаторов | Номер раздела дисциплины (в соответствии с п.3.1) | | | | | | Оценочное средство (тип и наименование) |
|---|------------------|---|---|---|---|---|---|--|
| | | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | |
| Знать: | | | | | | | | |
| Принципы построения и алгоритмы современных компьютерных программ для численного моделирования электромагнитных переходных процессов | ИД-4пк-2 | + | | | | | | Домашнее задание/Расчет параметров схем замещения основного электрооборудования распределительных устройств |
| Методы численного моделирования электрической дуги | ИД-3пк-3 | | | | | + | | Лабораторная работа/Защита лабораторной работы "Численное моделирование однофазного дугового замыкания в распределительной сети с изолированной нейтралью" |
| Методы построения и расчета параметров низкочастотных математических моделей трансформаторного оборудования | ИД-6пк-3 | | + | | | | | Лабораторная работа/Защита лабораторной работы "Численное моделирование феррорезонансных явлений в схемах с измерительными трансформаторами напряжения" |
| Волновую теорию электромагнитных переходных процессов в воздушных и кабельных линиях электропередачи и метод векторной аппроксимации её частотных характеристик | ИД-6пк-3 | | | + | | | | Лабораторная работа/Защита лабораторной работы "Численное моделирование многопроводных кабельных линий для расчета потерь в них" |
| Принципы построения и методы расчета параметров широкополосных моделей трансформаторного оборудования | ИД-6пк-3 | | | | + | | | Лабораторная работа/Защита лабораторной работы "Численное моделирование импульсных переходных процессов в обмотках силовых трансформаторов" |
| Теорию и этапы программного реализации метода конечных элементов для расчета двух- и трехмерных электромагнитных полей | ИД-8пк-3 | | | | | | + | Домашнее задание/Формирование системы уравнений метода конечных элементов для расчета электрического поля в воздушном изоляционном промежутке |
| Уметь: | | | | | | | | |

| | | | | | | | |
|--|----------------------|---|--|--|--|---|--|
| Составлять схемы замещения основного электрооборудования высоковольтных распределительных устройств и рассчитывать их параметры | ИД-4 _{ПК-2} | + | | | | | Домашнее задание/Расчет параметров схем замещения основного электрооборудования распределительных устройств |
| Составлять расчетные модели электрической дуги для её численного моделирования в программах расчета электромагнитных переходных процессов | ИД-3 _{ПК-3} | | | | | + | Лабораторная работа/Защита лабораторной работы "Численное моделирование однофазного дугового замыкания в распределительной сети с изолированной нейтралью" |
| Рассчитывать параметры широкополосных моделей трансформаторного оборудования | ИД-6 _{ПК-3} | | | | | + | Лабораторная работа/Защита лабораторной работы "Численное моделирование импульсных переходных процессов в обмотках силовых трансформаторов" |
| Рассчитывать частотные характеристики многопроводных воздушных и кабельных линий электропередачи и применять метод векторной аппроксимации для их численного моделирования | ИД-6 _{ПК-3} | | | | | + | Лабораторная работа/Защита лабораторной работы "Численное моделирование многопроводных кабельных линий для расчета потерь в них" |
| Рассчитывать параметры низкочастотных математических моделей трансформаторного оборудования | ИД-6 _{ПК-3} | | | | | + | Лабораторная работа/Защита лабораторной работы "Численное моделирование феррорезонансных явлений в схемах с измерительными трансформаторами напряжения" |
| Применять метод конечных элементов для расчета двух- и трехмерных электромагнитных полей | ИД-8 _{ПК-3} | | | | | | Домашнее задание/Формирование системы уравнений метода конечных элементов для расчета электрического поля в воздушном изоляционном промежутке |

4. КОМПЕТЕНТНОСТНО-ОРИЕНТИРОВАННЫЕ ОЦЕНОЧНЫЕ СРЕДСТВА ДЛЯ КОНТРОЛЯ ОСВОЕНИЯ РЕЗУЛЬТАТОВ ОБУЧЕНИЯ ПО ДИСЦИПЛИНЕ (ТЕКУЩИЙ КОНТРОЛЬ УСПЕВАЕМОСТИ, ПРОМЕЖУТОЧНАЯ АТТЕСТАЦИЯ ПО ДИСЦИПЛИНЕ)

4.1. Текущий контроль успеваемости

3 семестр

Форма реализации: Выполнение задания

1. Расчет параметров схем замещения основного электрооборудования распределительных устройств (Домашнее задание)
2. Формирование системы уравнений метода конечных элементов для расчета электрического поля в воздушном изоляционном промежутке (Домашнее задание)

Форма реализации: Смешанная форма

1. Защита лабораторной работы "Численное моделирование импульсных переходных процессов в обмотках силовых трансформаторов" (Лабораторная работа)
2. Защита лабораторной работы "Численное моделирование многопроводных кабельных линий для расчета потерь в них" (Лабораторная работа)
3. Защита лабораторной работы "Численное моделирование однофазного дугового замыкания в распределительной сети с изолированной нейтралью" (Лабораторная работа)
4. Защита лабораторной работы "Численное моделирование феррорезонансных явлений в схемах с измерительными трансформаторами напряжения" (Лабораторная работа)

Балльно-рейтинговая структура дисциплины является приложением А.

Балльно-рейтинговая структура курсовой работы является приложением Б.

4.2 Промежуточная аттестация по дисциплине

Экзамен (Семестр №3)

Оценка определяется в соответствии с Положением о балльно-рейтинговой системе для студентов НИУ «МЭИ» на основании семестровой и аттестационной составляющих.

Курсовая работа (КР) (Семестр №3)

В диплом выставляется оценка за 3 семестр.

Примечание: Оценочные материалы по дисциплине приведены в фонде оценочных материалов ОПОП.

5. УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ

5.1 Печатные и электронные издания:

1. Силовые трансформаторы : справочная книга / Ред. С. Д. Лизунов, А. К. Лоханин . – М. : Энергоиздат, 2004 . – 616 с. - ISBN 5-9807300-4-4 .;
2. Кадомская, К. П. Электрооборудование высокого напряжения нового поколения. Основные характеристики и электромагнитные процессы / К. П. Кадомская, Ю. А. Лавров, О. И. Лаптев . – Новосибирск : Изд-во НГТУ, 2008 . – 343 с. – (Монографии НГТУ) . - ISBN 978-5-7782-1073-8 .;
3. Сегерлинд, Л. Дж. Применение метода конечных элементов : пер. с англ. / Л. Дж. Сегерлинд . – М. : Мир, 1979 . – 392 с.;

4. Лоханин, А. К. Импульсные перенапряжения в обмотках трансформаторов : методическое пособие по курсу "Изоляция электротехнического оборудования высокого напряжения и основы ее проектирования" по направлению "Электроэнергетика" / А. К. Лоханин, Моск. энерг. ин-т (МЭИ ТУ) . – М. : Изд-во МЭИ, 2006 . – 38 с.;
5. Ж. Деклу- "Метод конечных элементов", Издательство: "Мир", Москва, 1976 - (95 с.)
<https://biblioclub.ru/index.php?page=book&id=456946>;
6. Г. Стренг, Д. Фикс- "Теория метода конечных элементов", Издательство: "Мир", Москва, 1977 - (350 с.)
<https://biblioclub.ru/index.php?page=book&id=457078>;
7. О. Зенкевич- "Метод конечных элементов в технике", Издательство: "Мир", Москва, 1975 - (542 с.)
<https://biblioclub.ru/index.php?page=book&id=457096>.

5.2 Лицензионное и свободно распространяемое программное обеспечение:

1. СДО "Прометей";
2. Office / Российский пакет офисных программ;
3. Windows / Операционная система семейства Linux;
4. Майнд Видеоконференции;
5. Антиплагиат ВУЗ;
6. SimInTech.

5.3 Интернет-ресурсы, включая профессиональные базы данных и информационно-справочные системы:

1. ЭБС Лань - <https://e.lanbook.com/>
2. ЭБС "Университетская библиотека онлайн" -
http://biblioclub.ru/index.php?page=main_ub_red
3. Научная электронная библиотека - <https://elibrary.ru/>
4. База данных ВИНТИ online - <http://www.viniti.ru/>
5. База данных журналов издательства Elsevier - <https://www.sciencedirect.com/>
6. Электронные ресурсы издательства Springer - <https://link.springer.com/>
7. База данных Web of Science - <http://webofscience.com/>
8. База данных Scopus - <http://www.scopus.com>
9. Национальная электронная библиотека - <https://rusneb.ru/>
10. ЭБС "Консультант студента" - <http://www.studentlibrary.ru/>
11. Журналы American Chemical Society - <https://www.acs.org/content/acs/en.html>
12. Журналы American Institute of Physics - <https://www.scitation.org/>
13. Журналы American Physical Society - <https://journals.aps.org/about>
14. База данных издательства Annual Reviews Science Collection -
<https://www.annualreviews.org/>
15. База данных Association for Computing Machinery Digital Library -
<https://dl.acm.org/about/content>
16. Журналы издательства Cambridge University Press - <https://www.cambridge.org/core>
17. База данных IEL издательства IEEE (Institute of Electrical and Electronics Engineers, Inc.) - <https://ieeexplore.ieee.org/Xplore/home.jsp?reload=true>
18. База данных Computers & Applied Sciences Complete (CASC) -
<http://search.ebscohost.com>
19. База данных INSPEC на платформе компании EBSCO Publishing -
<http://search.ebscohost.com>
20. Журналы Institute of Physics (IOP), Великобритания - <https://iopscience.iop.org/>
21. Журналы научного общества Optical Society of America (OSA) -
<https://www.osapublishing.org/about.cfm>

22. Патентная база Orbit Intelligence компании Questel - <https://www.orbit.com/>
23. Журналы издательства Oxford University Press - <https://academic.oup.com/journals/>
24. База данных диссертаций ProQuest Dissertations and Theses Global - <https://search.proquest.com/pqdtglobal/index>
25. Журналы Журналы Royal Society of Chemistry - <https://pubs.rsc.org/>
26. Журналы издательства SAGE Publication (Sage) - <https://journals.sagepub.com/>
27. Журнал Science - <https://www.sciencemag.org/>
28. Журналы научного общества Society of Photo-Optical Instrumentation Engineers (SPIE) Digital Library - <https://www.spiedigitallibrary.org/>
29. Коллекция журналов Taylor & Francis Group - <https://www.tandfonline.com/>
30. Журналы по химии Thieme Chemistry Package компании Georg Thieme Verlag KG - <https://www.thieme-connect.com/products/all/home.html>
31. Журналы издательства Wiley - <https://onlinelibrary.wiley.com/>
32. Электронная библиотека МЭИ (ЭБ МЭИ) - <http://elib.mpei.ru/login.php>
33. Портал открытых данных Российской Федерации - <https://data.gov.ru>
34. База открытых данных Министерства труда и социальной защиты РФ - <https://rosmintrud.ru/opendata>
35. База открытых данных профессиональных стандартов Министерства труда и социальной защиты РФ - <http://profstandart.rosmintrud.ru/obshchiy-informatsionnyy-blok/natsionalnyy-reestr-professionalnykh-standartov/>
36. База открытых данных Министерства экономического развития РФ - <http://www.economy.gov.ru>
37. База открытых данных Росфинмониторинга - <http://www.fedsfm.ru/opendata>
38. Электронная открытая база данных "Polpred.com Обзор СМИ" - <https://www.polpred.com>
39. Информационно-справочная система «Кодекс/Техэксперт» - <Http://proinfosoft.ru;>
<http://docs.cntd.ru/>
40. Национальный портал онлайн обучения «Открытое образование» - <https://openedu.ru>
41. Официальный сайт Федерального агентства по техническому регулированию и метрологии - <http://protect.gost.ru/>
42. Открытая университетская информационная система «РОССИЯ» - <https://uisrussia.msu.ru>
43. Официальный сайт Министерства науки и высшего образования Российской Федерации - <https://minobrnauki.gov.ru>
44. Официальный сайт Федеральной службы по надзору в сфере образования и науки - <https://obrnadzor>
45. Федеральный портал "Российское образование" - <http://www.edu.ru>

6. МАТЕРИАЛЬНО-ТЕХНИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ

| Тип помещения | Номер аудитории, наименование | Оснащение |
|---|------------------------------------|---|
| Учебные аудитории для проведения лекционных занятий и текущего контроля | Ж-407, Учебная аудитория | парта со скамьей, стол преподавателя, стул, доска меловая |
| Учебные аудитории для проведения практических занятий, КР и КП | Ж-409, Учебная аудитория | парта со скамьей, стол преподавателя, стул, доска меловая |
| Учебные аудитории для проведения лабораторных занятий | 3-105/5, Учебная лаборатория "ТОЭ" | стол учебный, стул, доска интерактивная, мультимедийный проектор, компьютер персональный, |

| | | |
|---|---|---|
| | | кондиционер |
| | 3-205а, Учебно-исследовательская лаборатория электромагнитного поля | стеллаж, стол преподавателя, стол, стул, шкаф, экран интерактивный, мультимедийный проектор, лабораторный стенд, компьютер персональный |
| | 3-402/10, Компьютерный класс каф. "ТОЭ" | стол преподавателя, стол компьютерный, стул, компьютерная сеть с выходом в Интернет, экран интерактивный, мультимедийный проектор, компьютер персональный |
| | Д-2(3), Лаборатория каф. "ТЭВН" | лабораторный стенд |
| Учебные аудитории для проведения промежуточной аттестации | Ж-407, Учебная аудитория | парта со скамьей, стол преподавателя, стул, доска меловая |
| Помещения для самостоятельной работы | НТБ-303, Компьютерный читальный зал | стол компьютерный, стул, стол письменный, вешалка для одежды, компьютерная сеть с выходом в Интернет, компьютер персональный, принтер, кондиционер |
| Помещения для консультирования | 3-203/5, Кабинет сотрудников каф. "ТОЭ" | стол, стул, шкаф |
| Помещения для хранения оборудования и учебного инвентаря | 3-403/5б, Помещение каф. "ТОЭ" | стул, шкаф |

БАЛЛЬНО-РЕЙТИНГОВАЯ СТРУКТУРА ДИСЦИПЛИНЫ

Моделирование высоковольтных электроустановок в электроэнергетике

(название дисциплины)

3 семестр

Перечень контрольных мероприятий текущего контроля успеваемости по дисциплине:

- КМ-1 Расчет параметров схем замещения основного электрооборудования распределительных устройств (Домашнее задание)
- КМ-2 Защита лабораторной работы "Численное моделирование феррорезонансных явлений в схемах с измерительными трансформаторами напряжения" (Лабораторная работа)
- КМ-3 Защита лабораторной работы "Численное моделирование многопроводных кабельных линий для расчета потерь в них" (Лабораторная работа)
- КМ-4 Защита лабораторной работы "Численное моделирование импульсных переходных процессов в обмотках силовых трансформаторов" (Лабораторная работа)
- КМ-5 Защита лабораторной работы "Численное моделирование однофазного дугового замыкания в распределительной сети с изолированной нейтралью" (Лабораторная работа)
- КМ-6 Формирование системы уравнений метода конечных элементов для расчета электрического поля в воздушном изоляционном промежутке (Домашнее задание)

Вид промежуточной аттестации – Экзамен.

| Номер раздела | Раздел дисциплины | Индекс КМ: | КМ-1 | КМ-2 | КМ-3 | КМ-4 | КМ-5 | КМ-6 |
|---------------|---|------------|------|------|------|------|------|------|
| | | Неделя КМ: | 3 | 4 | 8 | 12 | 16 | 16 |
| 1 | Основы построения компьютерных программ для численного моделирования электромагнитных процессов в электрических сетях | | | | | | | |
| 1.1 | Основы построения компьютерных программ для численного моделирования электромагнитных процессов в электрических сетях | | + | | | | | |
| 2 | Низкочастотные математические модели трансформаторного оборудования | | | | | | | |
| 2.1 | Низкочастотные математические модели трансформаторного оборудования | | | + | | | | |
| 3 | Математическое моделирование высокочастотных процессов в электроустановках | | | | | | | |
| 3.1 | Математическое моделирование высокочастотных процессов в электроустановках | | | | + | | | |
| 4 | Широкополосные модели трансформаторного оборудования | | | | | | | |
| 4.1 | Широкополосные модели трансформаторного оборудования | | | | | + | | |

| | | | | | | | |
|------------|--|----|----|----|----|----|----|
| 5 | Математическое моделирование электрической дуги | | | | | | |
| 5.1 | Математическое моделирование электрической дуги | | | | | + | |
| 6 | Метод конечных элементов и его применение для моделирования электромагнитных полей | | | | | | |
| 6.1 | Метод конечных элементов и его применение для моделирования электромагнитных полей | | | | | | + |
| Вес КМ, %: | | 10 | 20 | 20 | 20 | 20 | 10 |

БАЛЛЬНО-РЕЙТИНГОВАЯ СТРУКТУРА КУРСОВОГО ПРОЕКТА/РАБОТЫ ПО ДИСЦИПЛИНЕ

Моделирование высоковольтных электроустановок в электроэнергетике

(название дисциплины)

3 семестр

Перечень контрольных мероприятий текущего контроля успеваемости по курсовой работе:

КМ-1 Проверка выполнения раздела 1

КМ-2 Проверка выполнения раздела 2

КМ-3 Проверка выполнения раздела 3

Вид промежуточной аттестации – защита КР.

| Номер раздела | Раздел курсового проекта/курсовой работы | Индекс КМ: | КМ-1 | КМ-2 | КМ-3 |
|---------------|--|------------|------|------|------|
| | | Неделя КМ: | 8 | 12 | 14 |
| 1 | Составление схемы замещения распределительного устройства 500 кВ. Расчет параметров широкополосных моделей силового трансформатора, токопровода и коммутационного оборудования | | + | | |
| 2 | Численное моделирование переходных процессов в обмотках трансформатора при коротких замыканиях в распределительном устройстве | | | + | |
| 3 | Определение возможности возникновения в трансформаторе высокочастотных резонансных перенапряжений и разработка рекомендаций по снижению вероятности их возникновения, опасных для изоляции трансформатора. | | | | + |
| Вес КМ, %: | | | 40 | 40 | 20 |