МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГООБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ АВТОНОМНОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ

«Национальный исследовательский ядерный университет «МИФИ»

Озерский технологический институт –

Филиал федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего образования «Национальный исследовательский ядерный университет «МИФИ»

(ОТИ НИЯУ МИФИ)

Кафедра электрификации промышленных предприятий

Актуализировано УТВЕРЖДАЮ

И.о. заведующего кафедрой ЭПП Директор ОТИ НИЯУ МИФИ

В.Н. Ивойлов И.А. Иванов

« » 20 г. « » 20 г.

**Рабочая программа ДИСЦИПЛИНЫ**

*Электромагнитные переходные процессы*

*в электроэнергетических системах*

Направление подготовки

*13.03.02 – Электроэнергетика и электротехника*

Профиль подготовки

*Электроснабжение*

Квалификация выпускника

*Бакалавр*

Форма обучения

*очная*

г. Озерск

2022 г.

СОДЕРЖАНИЕ:

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| 1. | Цели и задачи изучения дисциплины | 4 |
| 2. | Место дисциплины в структуре ООП бакалавриата | 4 |
| 3. | Компетенции обучающегося, формируемые в процессе освоения дисциплины «Электромагнитные переходные процессы в электроэнергетических системах» | 6 |
| 4. | Структура и содержание курса «Электромагнитные переходные процессы в электроэнергетических системах» | 8 |
| 5. | Образовательные технологии | 12 |
| 6. | Оценочные средства для текущего контроля успеваемости, промежуточной аттестации по итогам освоения дисциплины и учебно-методическое обеспечение самостоятельной работы студентов | 13 |
| 7. | Оценочные средства для текущего контроля успеваемости, промежуточной аттестации по итогам освоения дисциплины и учебно-методическое обеспечение самостоятельной работы студентов | 14 |
| 8. | Материально-техническое обеспечение дисциплины | 15 |

**1. Цели и задачи изучения дисциплины**

Целью изучения дисциплины «Электромагнитные переходные процессы в электроэнергетических системах» является приобретение необходимых знаний о переходных и установившихся режимах электроэнергетических систем и систем электроснабжения, о причинах возникновения электромагнитных переходных процессов, об особенностях протекания этих процессов и их последствиях.

Основными задачами изучения курса являются:

- изучение математических моделей установившихся и переходных ре­жимов электроэнергетических систем;

- выработка понимания физики явлений;

- освоение методов анализа и расчета электромагнитных переходных процессов.

**2. Место дисциплины в структуре ООП бакалавриата**

Дисциплина «Электромагнитные переходные процессы в электроэнергетических системах» является одной из дисциплин модуля «Переходные процессы в электроэнергетических системах», который входит в обязательные дисциплины вариативной части основной образовательной программы подготовки бакалавров по профилю «Электроснабжение» направления 13.03.02 Электроэнергетика и электротехника. В рамках данной дисциплины рассматриваются вопросы анализа и расчетов электромагнитных переходных процессов в электрических системах и системах электроснабжения.

Дисциплины, усвоение которых необходимо для изучения данного курса: «Физика», «Математика», «Теоретические основы электротехники», «Электрические машины», «Математические задачи энергетики».

Знания, полученные при освоении дисциплины «Электромагнитные переходные процессы в электроэнергетических системах», используются при изучении дисциплины «Электромеханические переходные процессы в электроэнергетических системах» и таких дисциплин, как «Электрические станции и подстанции», «Элементная база устройств релейной защиты автоматики», «Релейная защита и автоматизация электроэнергетических систем», «Системы электроснабжения». Сведения данной дисциплины необходимы при выполнении бакалаврской выпускной квалификационной работы.

**3. Компетенции обучающегося, формируемые в процессе освоения дисциплины «Электромагнитные переходные процессы в электроэнергетических системах»**

В результате освоения данной дисциплины студент должен обладать следующими компетенциями:

|  |  |
| --- | --- |
| Код и наименование компетенции | Код и наименование индикатора достижения компетенции |
| ПК-3 Способен оформлять законченные проектно-конструкторские работы с использованием современных компьютерных технологий | З-ПК-3 Знать: технологические схемы и схемы электрических соединений и их взаимосвязь применительно к объектам профессиональной деятельности  У-ПК-3 Уметь: применять программное обеспечение, принятое к использованию, по направлению  деятельности; производить анализ проектной документации и выдавать замечания и предложения  В-ПК-3 Владеть: навыками работы с информационными средствами и технологиями при разработке проектов в рамках задач профессиональной деятельности |
| УК-1 Способен осуществлять поиск,  критический анализ и синтез информации, применять системный подход для решения поставленных задач | З-УК-1 Знать: методики сбора и обработки информации; актуальные российские и зарубежные источники информации в сфере профессиональной деятельности; метод системного анализа  У-УК-1 Уметь: применять методики поиска, сбора и обработки информации; осуществлять критический анализ и синтез информации, полученной из разных источников  В-УК-1 Владеть: методами поиска, сбора и обработки, критического анализа и синтеза информации; методикой системного подхода для решения поставленных задач |

**4. Структура и содержание курса «Электромагнитные переходные процессы в электроэнергетических системах»**

**4.1 Структура дисциплины**

Общая трудоемкость дисциплины составляет 4 зачетных единицы 144 часа.

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| №  п/п | Раздел  дисциплины | Семестр | Неделя  семестра | Виды учебной работы, включая самостоятельную работу студентов и трудоемкость (в часах) | | | | | Форма текущего  контроля успеваемости (по неделям семестра) Форма промежуточной аттестации (по семестрам) | Максимальный балл за раздел |
| Л | ПЗ | ЛР | ИДЗ | СРС |
| 1 | **Введение** | **6** | **1** | **2** |  |  |  | **1** |  |  |
| 2. | **Переходный процесс в простейшей трех-фазной сети** | **6** | **1-3** | **2** | **4** |  |  | **2** | **Контрольная работа** | **3** |
| 3. | **Упрощенный расчет токов короткого замыкания в элект-рической системе** | **6** | **3-4** | **2** | **4** | **4** | **6** | **6** | **Защита ИДЗ №1, защита ЛР №1, контроль-ная работа** | **12** |
| 4. | **Аналитическая теория переходного процесса в синх-ронной машине** | **6** | **5-8** | **10** | **2** |  |  | **5** | **Контрольная работа (тест)** | **3** |
| 5. | **Электромагнитный переходный процесс при внезапном трех-полюсном коротком замыкании цепи статора синхронной машины** | **6** | **9-10** | **6** | **6** | **8** |  | **5** | **Защита ЛР №2 и ЛР №3, контрольные работы** | **12** |
| 6. | **Практические мето-ды расчета переход-ного процесса симметричного КЗ** | **6** | **11** | **2** | **2** |  | **6** | **2** | **Защита ИДЗ №2,**  **контрольная работа** | **8** |
| 7. | **Электромагнитные переходные процес-сы при нарушении симметрии системы** | **6** | **12-14** | **8** | **4** | **4** |  | **5** | **Защита ЛР №4, контрольные работы** | **12** |
| 8. | **ИТОГО:** | **6** |  | **32** | **22** | **16** | **12** | **26** |  | **50** |
| 9. | **Подготовка к экзамену** | **6** |  |  |  |  |  | **36** |  | **50** |
| 10. | **ИТОГО:** | **6** |  | **32** | **22** | **16** | **12** | **62** | Форма промежуточной аттестации - **экзамен** | 100 |

**4.2 Содержание лекционно-практических форм обучения**

**4.2.1. Лекции:**

*1.Введение (2 час.)*

Содержание и задачи курса. Общие сведения о переходных процессах в электрических системах. Основные виды и особенности переходных процессов, характеристики их протекания и влияние на работу электрической системы и отдельных её элементов. Причины возникновения электромагнит-ных переходных процессов. Назначение расчетов электромагнитных переходных процессов и требования к расчетам. Основные допущения. Понятие о расчетных условиях.

*2.Переходный процесс в простейшей трехфазной сети (2 час.)*

Трехфазное короткое замыкание (КЗ) в неразветвленной цепи, подк­люченной к источнику синусоидального напряжения постоянной частоты и амплитуды. Составляющие тока трехфазного КЗ. Условия, при которых мгновенное значение тока в данной фазе получается максимальным. Влияние и учет активного сопротивления. Эквивалентная постоянная времени.

*3.Упрощенный расчет токов короткого замыкания в электрической системе (2 час.)*

Упрощенный расчет токов короткого замыкания в простейшей системе. Составление схемы замещения сложной системы. Система относительных единиц. Преобразование схем замещения. Применение принципа наложения. Приближенный учет системы. Автоматизация расчета токов КЗ.

*4.Аналитическая теория переходного процесса в синхронной машине   
(10 час.)*

Идеализация синхронной машины (СМ). Дифференциальные уравнения СМ в фазовых координатах. Зависимость индуктивностей обмоток и взаимоиндуктивностей между обмотками от положения ротора. Преобразование координат. Установление соответствия между фазными токами статора СМ и токами фиктивных вращающихся обмоток d, q.

Дифференциальные уравнения СМ во вращающихся координатах. Введение специальной системы относительных единиц. Схемная интерпретация уравнений Парка-Горева.

Установившийся режим синхронной машины. Векторная диаграмма. Начальный момент внезапного нарушения режима. Переходные и сверхпереходные ЭДС. Индуктивности и реактивности СМ. Операторные уравнения электромагнитного переходного процесса в СМ. Операторные индуктивности и реактивности.

*5.Электромагнитный переходный процесс при внезапном трехполюсном коротком замыкании цепи статора синхронной машины (6 час.)*

Внезапное короткое замыкание на зажимах статора нерегулируемой СМ без демпферных контуров. Операторные уравнения переходного процесса и нахождение корней характеристического уравнения.

Нахождение токов в обмотках d, q. и обмотке возбуждения СМ. Токи КЗ в фазных обмотках статора. Переходный процесс при КЗ за внешним сопротивлением. Влияние на переходный процесс в СМ её демпферных обмоток. Влияние на процесс короткого замыкания форсировки возбуждения генератора. Влияние и учет нагрузки.

*6.Практические методы расчета переходного процесса симметричного КЗ (2 час.)*

Постановка вопроса расчета переходного процесса. Расчет начального сверхпереходного и ударного токов. Расчет токов КЗ для произвольного момента времени. Метод типовых кривых.

*7.Электромагнитные переходные процессы при нарушении симметрии системы (8 час.)*

Основные положения в исследовании несимметричных переходных про­цессов. Применение метода симметричных составляющих. Параметры генераторов и двигателей для токов обратной и нулевой последовательностей. Параметры трансформаторов, линий и других элементов для токов обратной и нулевой последовательностей. Схемы замещения отдельных последовательностей. Результирующие сопротивления и ЭДС. Граничные условия в месте несимметрии. Универсальные схемы соединения последовательностей.

Частные случаи однократной поперечной несимметрии. Учет переходного сопротивления в месте замыкания. Правило эквивалентности прямой последовательности. Сравнение видов короткого замыкания. Применение практических методов к расчету переходного процесса при однократной поперечной несимметрии.

**4.2.2. Практические занятия:**

Занятия 1-2. Трехфазное короткое замыкание в неразветвленной электрической цепи, питаемой от источника бесконечной мощности.

Занятие 3. Короткое замыкание в сложной разветвленной схеме. Составление схемы замещения с использованием относительных единиц.

Занятие 4. Преобразование схем замещения. Упрощенный расчет тока короткого замыкания.

Занятие 5. Установившийся режим синхронной машины. Векторная диаграмма.

Занятие 6. Электромагнитный переходный процесс в СМ при трехфазном коротком замыкании на выводах статорной обмотки.

Занятие 7. Электромагнитный переходный процесс в СМ при трехфазном коротком замыкании за внешнем сопротивлением.

Занятие 8. Электромагнитный переходный процесс в СМ с демпферными контурами. Влияние и учет форсировки возбуждения.

Занятие 9. Практические методы расчета трехфазного короткого замыкания в сложной системе. Типовые кривые для определения тока КЗ в произвольный момент времени.

Занятие 10. Расчет несимметричного короткого замыкания. Составление схем замещения последовательностей.

Занятие 11. Определение токов несимметричного КЗ. Распределение токов по ветвям и фазам.

**4.3 Лабораторные работы:**

Работа №1. Расчет токов трехфазного короткого замыкания в сложной системе с помощью программы ТКЗ-3000.

Работа №2. Исследование переходного процесса при трехфазном коротком замыкании на выводах синхронного генератора.

Работа №3. Исследование переходного процесса при трехфазном коротком замыкании с учетом действия форсировки возбуждения.

Работа №4. Расчет токов несимметричного короткого замыкания в сложной системе с помощью программы ТКЗ-3000.

**4.4. Индивидуальные домашние задания:**

Задание №1. Упрощенный расчет токов короткого замыкания.

Задание №2. Расчет токов короткого замыкания с учетом переходного процесса в генераторе.

**5. Образовательные технологии**

В процессе преподавания дисциплины «Электромагнитные переходные процессы в электроэнергетических системах» используются как традиционные формы обучения – лекции, лекции-презентации и практические занятия, так и активные и интерактивные методы обучения – подготовка к лабораторным и практическим занятиям, выполнение индивидуальных домашних заданий.

При проведении лекционных и практических занятий используется наглядно-иллюстрационный раздаточный материал.

**6. Оценочные средства для текущего контроля успеваемости, промежуточной аттестации по итогам освоения дисциплины и учебно-методическое обеспечение самостоятельной работы студентов**

В процессе обучения для оценки уровня усвоения разделов дисциплины «Электромагнитные переходные процессы в электроэнергетических системах» и результативности самостоятельной работы студентов применяются активные методы контроля:

6.1. Текущий контроль

*Цель контроля:* Регулярное отслеживание уровня усвоения материала на лекциях, практических и лабораторных занятиях.

*Форма проведения:* На практических занятиях проводятся опрос, тестирование и/или контрольные работы в объеме 1 часа в виде самостоятельного решения задач по теме практического занятия; на лабораторных занятиях путем опроса проводится допуск к выполнению работы.

*Учебно-методическое обеспечение самостоятельной работы студентов:*

- тесты;

- контрольные задачи;

- методические указания к выполнению лабораторных работ.

6.2. Самоконтроль, осуществляемый студентом в процессе изучения дисциплины.

*Цель контроля:* Результативность самостоятельной работы студента.

*Форма проведения:* Консультации для студента, во время которых он может оценить результаты своей самостоятельной работы при подготовке к контрольным работам, при выполнении индивидуальных домашних заданий и при подготовке к выполнению лабораторных работ и защите отчетов.

*Учебно-методическое обеспечение самостоятельной работы студентов:*

- индивидуальные домашние задания;

- задачи для самостоятельного решения;

- методические указания к выполнению лабораторных работ.

6.4. Промежуточный контроль по окончании изучения раздела дисциплины.

*Цель контроля:* Оценка степени усвоения материала раздела.

*Форма проведения:* Защита индивидуальных домашних заданий и отчетов по лабораторным работам.

*Учебно-методическое обеспечение самостоятельной работы студентов:*

- индивидуальные домашние задания;

- методические указания к выполнению лабораторных работ.

6.5. Итоговый контроль

*Цель контроля:* Проверка знаний и навыков студентов, полученных на лекционных, практических и лабораторных занятиях, при выполнении индивидуальных домашних заданий.

*Форма проведения:* При положительных результатах текущего и промежуточного контроля за семестр студенты сдают экзамен.

*Учебно-методическое обеспечение самостоятельной работы студентов:*

- вопросы для подготовки к экзамену по дисциплине «Электромагнитные переходные процессы в электроэнергетических системах»;

- экзаменационные билеты.

**7. Учебно-методическое и информационное обеспечение дисциплины**

**7.1. Основная литература**

Руководящие указания по расчету токов короткого замыкания и выбору электрооборудования./ Под ред. Б.Н. Неклепаева – М.: Изд. НЦ ЭНАС, 2001 (60 экз).

Куликов Ю.А. Переходные процессы в электрических системах – Новосибирск: НГТУ, М.: Мир; ООО «Издательство АСТ» 2003 (3экз)

Расчет коротких замыканий и выбор электрооборудования/ И.П. Крючков, Б.Н. Неклепаев и др.; Под ред. Н.П. Крючкова и В.А. Старшинова – М.: Изд. центр «Академия», 2005. (3экз)

**7.2. Дополнительная литература**

Ульянов С.А. Электромагнитные переходные процессы в электрических системах - М.: Энергия, 1970 (1964) - 14 экз.

Электрооборудование электрических станций и подстанций/ Л.Д. Рожкова, Л.К. Корнеева, Т.В. Чиркова – М.: Изд. центр «Академия»

Рожкова Л.Д., Козулин В.С. Электрооборудование станций и подс­танций. М.: Энергия, 1987 - 27 экз.

Электроэнергетические системы в примерах и иллюстрациях. Под редакцией В.А. Веникова.-М.: Энергия, 1983-25 экз.

**7.3. Методические указания, рекомендации по использованию информационных технологий**

Методические указания к выполнению лабораторных работ:

Попов В.Н. Исследование переходных процессов в синхронном генераторе. Сборник лабораторных работ – Озерск, ОТИ МИФИ, 2002.

Попов В.Н. Расчет токов короткого замыкания с помощью программы ТКЗ-3000. Учебное пособие к лабораторным работам – Озерск, ОТИ МИФИ, 2003.

**8. Материально-техническое обеспечение дисциплины**

Универсальная модель электрической системы УРМЭС-2 и ПЭВМ лаборатории № 207 для выполнения лабораторных работ и индивидуальных домашних заданий.

Программа составлена в соответствии с требованиями ОС ВО НИЯУ МИФИ по специальности 13.03.02 *– электроэнергетика и электротехника*

Автор А.В. Омеляшко– старший преподаватель кафедры

Электрификации промышленных предприятий

Рецензент М.Ю. Калинин – ведущий специалист кафедры

Электрификации промышленных предприятий

Переработано и добавлено Т.Ф. Лифановой зав. лабораторией кафедры.

Электрификации промышленных предприятий

Программа одобрена на заседании

от 20.01.2022 года, протокол № 5.