МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ 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. зав. кафедрой ЭПП Директор ОТИ НИЯУ МИФИ

В.Н.Ивойлов И.А. Иванов

« » 20 г. « » 20 г.

### Рабочая программа ДИСЦИПЛИНЫ

*Электрические машины*

Направление подготовки

*13.03.02 (ОФО) – электроэнергетика и электротехника*

Профиль подготовки

*Электроснабжение*

Квалификация выпускника

*Бакалавр*

Форма обучения

*Очная*

г. Озерск

2022 год

**1. Цели освоения дисциплины.**

Цель изучения дисциплины – изучение уравнений обобщенной машины, принципов работы, конструкций и свойств различных видов электрических машин и методов их экспериментального исследования, а также анализ установившихся режимов в электрических машинах.

При изучении дисциплины ставится задача научить понимать происходящие в электрических машинах многообразные взаимосвязанные физические явления и процессы, увязывая физические представления с их математическим описанием, научить расчету и конструированию оптимальных электрических машин и их рациональному применению в эксплуатации.

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

Дисциплина «Электрические машины» входит в базовую часть Блока 1 ООП по направлению подготовки 13.03.02. Предметом изучения дисциплины являются трансформаторы, асинхронные и синхронные машины, машины постоянного тока.

В курсе рассматриваются преобразование энергии в электрических машинах, принципы действия и устройство наиболее распространенных исполнений электрических машин и их характеристики.

Дисциплины, усвоение которых необходимо для изучения данного курса: «Физика», «Математика», «Теоретические основы электротехники».

Сведения из дисциплины «Электрические машины» используются в таких курсах как, «Электроэнергетические системы и сети», «Электрические станции и подстанции», «Переходные процессы в электроэнергетических системах», «Системы электроснабжения».

**3. Компетенции обучающегося, формируемые в результате освоения дисциплины «Электрические машины»:**

Процесс изучения дисциплины направлен на формирование компетенций:

|  |  |
| --- | --- |
| Код и наименование компетенции | Код и наименование индикатора достижения компетенции |
| ОПК-2 Способен разрабатывать алгоритмы и компьютерные программы, пригодные для практического применения | З-ОПК-2 Знать основные принципы и требования построения алгоритмов, синтаксис языка программирования  У-ОПК-2 Уметь разрабатывать алгоритмы для решения практических задач согласно предъявляемым требованиям  В-ОПК-2 Владеть средой программирования и отладки для разработки программ для практического применения |
| ОПК-3 Способен применять соответствующий физико-математический аппарат, методы анализа и моделирования, теоретического и экспериментального исследования при решении профессиональных задач | З-ОПК-3 Знать: основные математические приложения и физические законы, явления и процессы, на которых основаны принципы действия объектов профессиональной деятельности, а также аппарат теоретического и  экспериментального исследования  У-ОПК-3 Уметь: применять основные законы математики, физики и технических наук при моделировании технологических процессов  В-ОПК-3 Владеть: математическим аппаратом, методами теоретического и экспериментального исследования при решении профессиональных  задач |
| ОПК-4 Способен использовать методы  анализа и моделирования электрических цепей и электрических машин | З-ОПК-4 Знать: методику расчетов режимов работы электрических цепей и электрических машин; методы анализа и моделирования линейных и нелинейных цепей постоянного и переменного тока  У-ОПК-4 Уметь: контролировать и анализировать режимы работы электрооборудования с учетом заданных параметров и характеристик  В-ОПК-4 Владеть: способами регулирования заданных параметров режимов работы; навыками анализа и моделирования |
| 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 |

**4. Структура и содержание дисциплины «Электрические машины»**

Общая трудоемкость дисциплины составляет 8 зачетных единиц 288 часов.

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| №  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 |
| Лек. | ПЗ | Лаб. | ИДЗ | СР |
| **1** | **2** | **3** | **4** | **5** | **6** | **7** | **8** | **9** | **10** | **11** |
|  | **Раздел 1. Законы преобразования энергии в электрических машинах и уравнения обобщенной машины.** | **5** | **1-3** | **8** | **4** |  | **12** | **2** |  | **10** |
|  | Тема 1.1. Основы электромеханического преобразования энергии в электрических машинах.  Тема 1.2. Магнитное поле машины. Расчет магнитной цепи машины. | 5 | 1 | 4 |  |  | 12 |  | Тема ИДЗ №1.Расчет магнитной цепи электрической машины. |  |
|  | Тема 1.3. Обмотки электрических машин переменного тока. | 5 | 2 | 2 | 2 |  |  | 1 | ПЗ №1 Расчет магнитной цепи электрической машины. |  |

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| **1** | **2** | **3** | **4** | **5** | **6** | **7** | **8** | **9** | **10** | **11** |
|  | Тема 1.4. ЭДС в обмотках электрических машин переменного тока. Магнитодвижущие силы обмоток машин переменного тока. | 5 | 3 | 2 | 2 |  |  | 1 | ПЗ №2 Расчет параметров статорной обмотки машин переменного тока. |  |
|  | **Раздел 2. Трансформаторы.** | **5** | **4-13** | **12** | **8** | **20** |  | **7** |  | **25** |
|  | Тема 2.1. Типы магнитных систем и обмоток трансформаторов. Конструктивные семы однофазных и трехфазных трансформаторов. Уравнения трансформатора.  Тема 2.2. Приведенный трансформатор. Векторная диаграмма трансформатора. | 5 | 4 | 4 |  |  |  |  |  |  |
|  | Тема 2.3 Энергетические диаграммы активной и реактивной мощностей трансформаторов. Схемы замещения трансформатора. | 5 | 5 | 2 | 2 |  |  | 1 | Защита ИДЗ №1  ПЗ№3 Расчет параметров схем замещения трансформаторов. |  |
|  | Тема 2.4. Экспериментальное определение параметров и потерь трансформатора. Опыт холостого хода и короткого замыкания. Изменение напряжения при нагрузке трансформатора. Регулирование напряжения трансформатора. | 5 | 6 | 2 | 2 |  |  |  | ПЗ № 4. Коэффициент трансформации, ЭДС и токи в обмотках трансформатора, параметры холостого хода и короткого замыкания. |  |
| **1** | **2** | **3** | **4** | **5** | **6** | **7** | **8** | **9** | **10** | **11** |
|  |  | 5 | 7 |  |  | 4 |  |  | ЛР №1. Изучение комплексного стенда для исследования электрических машин | 5 |
|  | Тема 2.5. Многообмоточные трансформаторы. Двухобмоточный трансформатор с расщепленной на две части вторичной обмоткой.  Автотрансформаторы: схемы соединения; основы теории. | 5 | 8 | 2 | 2 |  |  | 1 | ПЗ №5. Векторная диаграмма, потери и КПД трансформатора. Расчет параметров автотрансформатора. |  |
|  |  | 5 | 9 |  |  | 4 |  | 1 | ЛР №2. Исследование двухобмоточного трехфазного трансформатора. | 5 |
|  | Тема 2.6. Параллельная работа трансформаторов. | 5 | 10 | 2 | 2 |  |  | 1 | ПЗ № 6 Параллельная работа трансформаторов.  ИДЗ № 2. Статорные обмотки машин переменного тока. |  |
|  | 5 | 11 |  |  | 4 |  | 1 | ЛР № 3. Исследование трехфазного трехобмоточного трансформатора. | 5 |
|  | 5 | 12 |  |  | 4 |  | 1 | ЛР № 4. Исследование параллельной работы двухобмоточных трансформаторов. | 5 |
|  | 5 | 13 |  |  | 4 |  | 1 | ЛР № 5. Исследование несимметричных режимов двухобмоточных трансформаторов. | 5 |

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| **1** | **2** | **3** | **4** | **5** | **6** | **7** | **8** | **9** | **10** | **11** |
|  | **Раздел 3. Асинхронные машины.** | **5** | **14-18** | **10** | **6** | **4** | **12** | **3** |  | **15** |
|  | Тема 3.1. Математическое описание процессов преобразования энергии в асинхронных машинах. | 5 | 14 | 4 |  |  |  |  |  |  |
|  | Тема3.2. Векторные диаграммы асинхронной машины. Схемы замещения асинхронной машины. |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|  |  | 5 | 15 |  |  | 4 |  |  | ЛР № 6. Исследование асинхронного двигателя с короткозамкнутым ротором. | 5 |
|  | Тема 3.3. Мощности и потери асинхронной машины. Момент асинхронной машины. | 5 | 16 | 2 | 2 |  |  | 1 | ПЗ №7 Расчет параметров схем замещения асинхронных машин. |  |
|  | Тема 3.4. Пуск трехфазных асинхронных двигателей. Асинхронные двигатели с улучшенными пусковыми характеристиками. | 5 | 17 | 2 | 2 |  |  | 1 | ПЗ №8 Электромагнитный момент. Механические характеристики асинхронных машин.  Защита ИДЗ №2 |  |
|  | Тема 3.5 Регулирование частоты вращения. | 5 | 18 | 2 | 2 |  | 12 | 1 | ПЗ № 9. Круговая диаграмма асинхронной машины. | 10 |
|  | Подготовка к экзамену | 5 |  |  |  |  |  | **36** | Форма промежуточной аттестации- **экзамен** | **50** |
|  | **ИТОГО:** | 5 |  | **30** | **18** | **24** | **24** | **12** | **144** | **100** |
| №  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 | КП | СР |
| **1** | **2** | **3** | **4** | **5** | **6** | **7** | **8** | **9** | **10** | **11** |
|  | **Раздел 5. Синхронные машины (СМ).** | **6** | **1-7** | **10** | **6** | **8** | **14** | **14** |  | **23** |
|  | Тема 5.1. Конструкция СМ. Работа синхронного генератора при холостом ходе. Реакция якоря в СМ. Индуктивное сопротивление рассеяния.  Тема 5.2. Работа синхронного генератора на автономную симметричную нагрузку. | 6 | 1 | 4 |  |  | 2 | 2 | Этап расчета КР № 1. Выбор главных размеров двигателя. | 1 |
|  | Тема 5.3. Работа СМ параллельно с сетью бесконечно большой мощности.  ПЗ №1. Расчет параметров трехфазных синхронных генераторов. (КР) | 6 | 2 | 2 | 2 |  | 2 | 2 | Этап расчета КР № 1 | 2 |
|  | Тема 5.4. Энергетическая диаграмма и КПД СМ. Электромагнитная мощность и момент СМ.  Тема 5.5. Работа СМ в режиме двигателя и компенсатора. | 6 | 3 | 4 |  |  | 2 | 2 | Этап расчета КР № 2. Определение количества пазов, числа витков в фазе, сечения провода и расчет размеров зубцовой зоны статора. | 2 |

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| **1** | **2** | **3** | **4** | **5** | **6** | **7** | **8** | **9** | **10** | **11** |
|  | ПЗ №2. Построение практической диаграммы ЭДС синхронного генератора.  ПЗ №3 Расчет параметров синхронных двигателей. (КР) | 6 | 4 |  | 4 |  | 2 | 2 | Этап расчета КР № 3 Расчет ротора. | 2 |
|  | ЛР №1 Исследование синхронного генератора | 6 | 5 |  |  | 4 | 2 | 2 | Этап расчета КР № 3 Расчет ротора. | 6 |
|  | ПЗ № Расчет параметров синхронных компенсаторов. (КР) | 6 | 6 |  | 2 |  | 2 | 2 | Этап расчета КР № 4 Расчет магнитной цепи и намагничивающего тока. | 3 |
|  | ЛР № 2 Исследование параллельной работы синхронного генератора с сетью. | 6 | 7 |  |  | 4 | 2 | 2 | Этап расчета КР № 5 Расчет параметров обмоток статора и ротора. | 7 |
|  | **Раздел 6. Машины постоянного тока (МПТ).** | **6** | **8-14** | **10** | **4** | **8** | **14** | **18** |  | **27** |
|  | Тема 6.1. Конструкция, принцип действия МПТ. ЭДС вращения и момент МПТ. Тема 6.2 Реакция якоря и коммутация коллекторной МПТ. Потри мощности в МПТ. | 6 | 8 | 4 |  |  | 2 | 2 | Этап расчета КР №6. Расчет потерь холостого хода. | 2 |
|  | Тема 6.3. Генераторы постоянного тока.  ПЗ № 4. Генераторы постоянного тока (СР) | 6 | 9 | 2 | 2 |  | 2 | 2 | Этап расчета КР №7. Расчет параметров номинального режима и рабочих характеристик. | 3 |
|  | ЛР №3. Исследование генераторов постоянного тока | 6 | 10 |  |  | 4 | 2 | 2 | Этап расчета КР № 8. Расчет пускового режима | 7 |

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| **1** | **2** | **3** | **4** | **5** | **6** | **7** | **8** | **9** | **10** | **11** |
|  | Тема 6.4. Двигатели постоянного тока | 6 | 11 | 2 |  |  | 2 | 2 | Этап расчета КР № 9. Тепловой расчет. | 2 |
|  | ЛР №4. Исследование двигателей постоянного тока. | 6 | 12 |  |  | 4 | 2 | 2 | Этап расчета КР № 10. Сопоставление расчетных данных с данными типового двигателя. | 7 |
|  | ПЗ № 5. Двигатели постоянного тока. (СР) | 6 | 13 |  | 2 |  | 2 | 4 | Окончательное оформление расчетно-пояснительной записки. | 3 |
|  | Тема 6.5. Сравнение двигателей постоянного тока. Устойчивость работы двигателей. | 6 | 14 | 2 |  |  | 2 | 4 | Защита КР | 3 |
|  | **Подготовка к экзамену** | **7** |  |  |  |  |  | **36** | Форма аттестации- **экзамен** | **50** |
|  | **ИТОГО:** | **7** | **14** | **20** | **12** | **16** | **28** | **32** | **144 часа** | **100** |

**5. Образовательные технологии**

В процессе преподавания дисциплины «Электрические машины» используются как традиционные формы обучения – лекции, лекции-презентации, практические занятия, лабораторный практикум, так и активные и интерактивные методы обучения – опережающая самостоятельная работа (подготовка к лабораторным работам, выполнение и защита результатов эксперимента, подготовка к практическим занятиям, выполнение индивидуальных домашних заданий), исследовательский опыт (выполнение курсовой работы, использование прикладных программ).

При проведении лекционных и практических занятий используется наглядно-иллюстрационный раздаточный материал и натурные модели конструктивных элементов электрических машин.

**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 «Электрические машины» и результативности самостоятельной работы студентов применяются активные методы контроля:

6.1. Текущий контроль

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

*Форма проведения:* На практических занятиях проводятся опрос и/или работы в объеме 1 часа в виде самостоятельного решения задач по теме практического занятия.

*Учебно-методическое обеспечение самостоятельной работы студентов:*

- методические рекомендации для студентов при подготовке к практическим занятиям по дисциплине.

- тесты;

- бланки контрольных работ (или задачи для СРС).

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 как при подготовке к контрольным работам, лабораторным работам, при выполнении индивидуальных домашних заданий и курсовой работы.

*Учебно-методическое обеспечение самостоятельной работы студентов:*

- сборники лабораторных работ;

- индивидуальные домашние задания;

- задачи для самостоятельного решения.

6.4. Промежуточный контроль по окончании изучения раздела дисциплины.

*Цель контроля:* Оценка степени усвоения материала раздела.

*Форма проведения:* Защита индивидуальных домашних заданий, лабораторных работ, курсовой работы.

*Учебно-методическое обеспечение самостоятельной работы студентов:*

- задание на курсовую работу:

**Тема** "*Расчет асинхронного двигателя с короткозамкнутым ротором*".

**1.** **Исходные данные:**

Тип двигателя ***асинхронный***

Число фаз \_\_

Мощность ***кВт***

Синхронная частота вращения ***об/мин***

Напряжение \_\_\_**В**

Частота напряжения ***\_\_ Гц***

Режим работы ***продолжительный***

Исполнение по степени защиты ***\_\_\_\_***

Исполнение по способу охлаждения ***\_\_\_\_\_***

**2. Объем, содержание и график курсовой работы.**

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
|  | Этап расчета | Срок выполнения  по уч. нед. | Объём  в % |
| 1. | Выбор главных размеров двигателя. | 1-2 недели | 5% |
| 2. | Расчет количества пазов, числа витков в фазе, сечения провода и расчет размеров зубцовой зоны статора. | 3 неделя | 10% |
| 3. | Расчет ротора. | 4 -5 недели | 10% |
| 4. | Расчет магнитной цепи и намагничивающего тока. | 6 неделя | 10% |
| 5. | Расчет параметров обмоток статора и ротора. | 7 неделя | 10% |
| 6. | Расчет потерь холостого хода. | 8 неделя | 10% |
| 7. | Расчет параметров номинального режима и рабочих характеристик. | 9 неделя | 10% |
| 8. | Расчет пускового режима. | 10 неделя | 10% |
| 9. | Тепловой расчет. | 11 неделя | 10% |
| 10. | Расчет экономических показателей и приведенной стоимости. Сопоставление расчетных данных с данными типового двигателя. | 12 неделя | 10% |
| 11. | Окончательное оформление расчетно-пояснительной записки. | 13 неделя | 5% |

Отчетным материалом курсовой работы является расчетно-пояснительная записка объемом 20-25 стр. Курсовая работа выполняется за 13недель, защита - на 14-ой неделе.

6.5. Итоговый контроль

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

*Форма проведения:* На основании результатов текущего и промежуточного контроля за 5 и 6 семестры студенты сдают экзамен.

*Учебно-методическое обеспечение самостоятельной работы студентов:*

- вопросы для подготовки к экзамену по дисциплине «Электрические машины»;

- экзаменационные билеты.

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

а) литература:

Копылов И.П. Электрические машины: Учебник для акад. бакалавриата ВПО. Гриф УМО/И.П. Копылов. – 2-ое изд. перераб. и доп.- М.: Юрайт, 2014. - 675 с.

Копылов И.П. Электрические машины: Учебник для бакалавров /И.П. Копылов. – 2-ое изд. перераб. и доп.- М.: Юрайт, 2012. - 675 с.

Проектирование электрических машин / под ред. И.П. Копылова. – 4-е изд. перераб. и доп. – М. : Издательство Юрайт, 2015. - 767 с

Проектирование электрических машин: учебник для вузов / под ред. И.П. Копылова. – 4-е изд. перераб. и доп. – М. : Издательство Юрайт, 2011. - 767 с. – (Основы наук)

Пономаренко В.К., Фролова Н.С. Сборник задач по электромеханике. Учебное пособие – Озерск: ОТИ МИФИ, 2001.

Фролова Н.С. Электромеханика. Часть 1,2. Сборник лабораторных работ – Озерск: ОТИ МИФИ, 2006.

Токарев Б.Ф. Электрические машины: Учеб. пособие для вузов. - М.: Энергоатомиздат, 1990. - 642 с.: ил.

Проектирование электрических машин. Под ред. Копылова И.П. - М.: Энергия, 1980. - 495.: ил.

б) программное обеспечение и Интернет-ресурсы:

- САПР «Асинхронный двигатель с короткозамкнутым ротором»;

- презентации.

**8. Материально-техническое обеспечение дисциплины**

Лаборатории электрических машин (№ 007, 003), Лаборатория «Электроснабжение» (№021), ПВМ лаборатории «Автоматизация систем электроснабжения» (№ 207) для выполнения курсовой работы.

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

Автор Шаков О.Р.

Рецензент:

Ивойлов Владимир Николаевич и.о. заведующего

кафедрой Электрификацией промышленных предприятий

Программа добавлена Т.Ф. Лифановой – зав. лабораторией

кафедры Электрификацией промышленных предприятий

Программа одобрена на заседании

от 20.01.2022 года, протокол № 5.