

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: Электроэнергетические системы и сети, их режимы, устойчивость, надежность и качество электрической энергии

Уровень образования: высшее образование - магистратура

Форма обучения: Очная

Рабочая программа дисциплины
МЕТОДЫ МОДЕЛИРОВАНИЯ ЭЛЕМЕНТОВ ЭЭС


| | |
|--|--|
| Блок: | Блок 1 «Дисциплины (модули)» |
| Часть образовательной программы: | Часть, формируемая участниками образовательных отношений |
| № дисциплины по учебному плану: | Б1.Ч.11 |
| Трудоемкость в зачетных единицах: | 3 семестр - 3; |
| Часов (всего) по учебному плану: | 108 часов |
| Лекции | 3 семестр - 32 часа; |
| Практические занятия | 3 семестр - 16 часов; |
| Лабораторные работы | не предусмотрено учебным планом |
| Консультации | 3 семестр - 2 часа; |
| Самостоятельная работа | 3 семестр - 57,5 часа; |
| в том числе на КП/КР | не предусмотрено учебным планом |
| Иная контактная работа | проводится в рамках часов аудиторных занятий |
| включая: | |
| Контрольная работа | |
| Промежуточная аттестация: | |
| Экзамен | 3 семестр - 0,5 часа; |

Москва 2020

ПРОГРАММУ СОСТАВИЛ:

Преподаватель

(должность)

| | | |
|---|--|---------------------------------|
|  | Подписано электронной подписью ФГБОУ ВО «НИУ «МЭИ» | |
| | Сведения о владельце ЦЭП МЭИ | |
| | Владелец | Чемборисова Н.Ш. |
| | Идентификатор | Rf29e1753-ChemborisovaNS-b0c0f2 |

(подпись)

Н.Ш.


Чемборисова

(расшифровка подписи)

СОГЛАСОВАНО:

Руководитель
образовательной программы

(должность, ученая степень, ученое звание)

| | | |
|---|--|--------------------------------|
|  | Подписано электронной подписью ФГБОУ ВО «НИУ «МЭИ» | |
| | Сведения о владельце ЦЭП МЭИ | |
| | Владелец | Кузнецов О.Н. |
| | Идентификатор | Rf1ad9303-KuznetsovON-34bc149f |


(подпись)

О.Н. Кузнецов

(расшифровка
подписи)

Заведующий выпускающей
кафедры

(должность, ученая степень, ученое звание)

| | | |
|---|--|-------------------------------|
|  | Подписано электронной подписью ФГБОУ ВО «НИУ «МЭИ» | |
| | Сведения о владельце ЦЭП МЭИ | |
| | Владелец | Шаров Ю.В. |
| | Идентификатор | R324da3b6-SharovYurV-0bb905bf |

(подпись)

Ю.В. Шаров

(расшифровка
подписи)

1. ЦЕЛИ И ЗАДАЧИ ОСВОЕНИЯ ДИСЦИПЛИНЫ

Цель освоения дисциплины: Изучение существующих математических моделей основных элементов сложных электроэнергетических систем (ЭЭС): вращающихся машин и статических элементов

Задачи дисциплины

- изучение современных подходов к формированию математических моделей отдельных элементов электроэнергетических систем;
- изучения способов преобразования математических моделей элементов в зависимости от поставленной задачи;
- изучение способов формирования математических моделей сложной регулируемой электроэнергетической системы.

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-1 Способен участвовать в научно-исследовательской деятельности в сфере электроэнергетики | ИД-3 _{ПК-1} Умеет формулировать задачу исследования на основе современных методов и имеющихся средств в области электроэнергетических систем и сетей | знать: - современные математические модели отдельных элементов ЭЭС. уметь: - применять методы формирования моделей ЭЭС при проектировании электроэнергетических систем. |
| ПК-2 Способен участвовать в реализации технологических процессов объектов профессиональной деятельности | ИД-3 _{ПК-2} Владеет методами моделирования, расчёта, оптимизации и управления электроэнергетическими системами и сетями | знать: - способы формирования модели сложной энергосистемы для решения различных задач энергетики. уметь: - обосновывать конкретные решения по использованию определенных моделей сложной электроэнергетической системы. |

2. МЕСТО ДИСЦИПЛИНЫ В СТРУКТУРЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЙ ПРОГРАММЫ ВО

Дисциплина относится к основной профессиональной образовательной программе Электроэнергетические системы и сети, их режимы, устойчивость, надежность и качество электрической энергии (далее – ОПОП), направления подготовки 13.04.02 Электроэнергетика и электротехника, уровень образования: высшее образование - магистратура.

Требования к входным знаниям и умениям:

- знать параметры и математические модели отдельных элементов электрических систем
- знать основные параметры электрических режимов
- уметь составлять схемы замещения элементов систем, анализировать параметры их режимов
- уметь использовать полученные ранее знания в ходе изучения дисциплины

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 3 зачетных единицы, 108 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 | Модели простейшего сетевого элемента ЭЭС | 8 | 3 | 4 | - | 2 | - | - | - | - | - | 2 | - | <p><u>Самостоятельное изучение теоретического материала:</u> Изучение дополнительного материала по разделу "Модели простейшего сетевого элемента ЭЭС "</p> <p><u>Изучение материалов литературных источников:</u> [2], п.2 [3], стр.3-4 [4], стр.5-10</p> | | |
| 1.1 | Модели простейшего сетевого элемента ЭЭС | 8 | | 4 | - | 2 | - | - | - | - | - | - | 2 | | - | |
| 2 | Преобразование системы уравнений элементов ЭЭС | 8 | | 4 | - | 2 | - | - | - | - | - | - | 2 | | - | <p><u>Самостоятельное изучение теоретического материала:</u> Изучение дополнительного материала по разделу "Преобразование системы уравнений элементов ЭЭС "</p> <p><u>Изучение материалов литературных источников:</u> [3], стр.3-4 [5], стр.5-13</p> |
| 2.1 | Преобразование системы уравнений элементов ЭЭС | 8 | | 4 | - | 2 | - | - | - | - | - | - | 2 | | - | |
| 3 | Математическая модель синхронной машины и схема замещения | 14 | | 6 | - | 4 | - | - | - | - | - | - | 4 | | - | <p><u>Самостоятельное изучение теоретического материала:</u> Изучение дополнительного материала по разделу "Математическая модель синхронной машины и схема замещения"</p> <p><u>Изучение материалов литературных источников:</u> [2], п.2 [3], стр. 14-24</p> |
| 3.1 | Математическая модель синхронной машины и схема замещения | 14 | | 6 | - | 4 | - | - | - | - | - | - | 4 | | - | |

| | | | | | | | | | | | | | |
|-----|--|-------|----|---|----|---|---|---|---|-----|------|------|---|
| | | | | | | | | | | | | | [4], стр.24-31 |
| 4 | Математическая модель асинхронного двигателя | 14 | 6 | - | 2 | - | - | - | - | - | 6 | - | <u>Самостоятельное изучение теоретического материала:</u> Изучение дополнительного материала по разделу "Математическая модель асинхронного двигателя" |
| 4.1 | Математическая модель асинхронного двигателя | 14 | 6 | - | 2 | - | - | - | - | - | 6 | - | <u>Изучение материалов литературных источников:</u> [2], п.2 [3], стр. 24-32 [5], стр.67-74 |
| 5 | Математическое описание ЭЭС для анализа статической устойчивости | 16 | 8 | - | 4 | - | - | - | - | - | 4 | - | <u>Самостоятельное изучение теоретического материала:</u> Изучение дополнительного материала по разделу "Математическое описание ЭЭС для анализа статической устойчивости" |
| 5.1 | Математическое описание ЭЭС для анализа статической устойчивости | 16 | 8 | - | 4 | - | - | - | - | - | 4 | - | <u>Изучение материалов литературных источников:</u> [1], п.3 [3], стр.32-44 |
| 6 | Математическое описание ЭЭС для анализа переходных процессов | 9.8 | 4 | - | 2 | - | - | - | - | - | 3.8 | - | <u>Самостоятельное изучение теоретического материала:</u> Изучение дополнительного материала по разделу "Математическое описание ЭЭС для анализа переходных процессов" |
| 6.1 | Математическое описание ЭЭС для анализа переходных процессов | 9.8 | 4 | - | 2 | - | - | - | - | - | 3.8 | - | <u>Изучение материалов литературных источников:</u> [3], стр.3-4 [5], стр.44-53 |
| | Экзамен | 38.2 | - | - | - | - | 2 | - | - | 0.5 | - | 35.7 | |
| | Всего за семестр | 108.0 | 32 | - | 16 | - | 2 | - | - | 0.5 | 21.8 | 35.7 | |
| | Итого за семестр | 108.0 | 32 | - | 16 | - | 2 | - | - | 0.5 | | 57.5 | |

Примечание: Лек – лекции; Лаб – лабораторные работы; Пр – практические занятия; КПП – 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. Модели простейшего сетевого элемента ЭЭС

1.1. Модели простейшего сетевого элемента ЭЭС

Математические модели элементов электроэнергетических систем: требования к моделям, адаптивные модели. Условия формирования моделей. Математическая модель трехфазного RL-элемента. Коэффициенты само и взаимной индукции, представление простейшей модели линии электропередачи..

2. Преобразование системы уравнений элементов ЭЭС

2.1. Преобразование системы уравнений элементов ЭЭС

Определение собственных значений и собственных векторов комплексной матрицы параметров ПЗФ. Получение матрицы преобразования системы уравнений. Преобразование Фурье. Связь систем координат. Декартово преобразование D-Q-0. Математическая модель воздушной линии. Формы записи исходных и преобразованных уравнений, их отличия..

3. Математическая модель синхронной машины и схема замещения

3.1. Математическая модель синхронной машины и схема замещения

Основные допущения при формировании математической модели синхронной машины. Модель синхронной машины. Диагонализация матрицы фазных параметров уравнений потокосцеплений CM. Диагонализация матрицы П1. Преобразование Горева-Парка. Уравнения Парка-Горева. Запись уравнений CM. Схема замещения CM по поперечной оси и по продольной оси..

4. Математическая модель асинхронного двигателя

4.1. Математическая модель асинхронного двигателя

Преобразование уравнений статора и ротора. Формирование компактной формы записи. Уравнение механического движения ротора асинхронного двигателя. Вывод уравнения движения ротора из энергетических соотношений. Преобразование уравнений..

5. Математическое описание ЭЭС для анализа статической устойчивости

5.1. Математическое описание ЭЭС для анализа статической устойчивости

Общие положения математического описания ЭЭС. Математическая модель АД в сложной ЭЭС. Запись уравнений CM, уравнения в отклонениях. Запись уравнений переходных процессов ротора CM через операторные сопротивления. Упрощенные модели CM. Модель регулятора возбуждения и регулятора турбины. Математическое описание электрической сети ЭЭС в исследованиях статической устойчивости..

6. Математическое описание ЭЭС для анализа переходных процессов

6.1. Математическое описание ЭЭС для анализа переходных процессов

Описание переходных процессов в сети в координатах D и Q. Операторная форма записи. Матричная форма записи узловых уравнений установившегося режима. Уравнения переходных режимов в электрической сети для исследования статической устойчивости. Общая структура математического описания переходных процессов в ЭЭС. Приведение

параметров СМ к относительным единицам. Оценка параметров схемы по результатам РМУ.
Верификация моделей элементов ЭЭС..

3.3. Темы практических занятий

1. Формирование уравнений связи СМ с сетью. Операторная форма записи уравнений;
2. Формирование модели линии электропередачи для расчета переходных процессов;
3. Математическое описание регуляторов возбуждения и скорости;
4. Формирование математической модели сети в сложной ЭЭС;
5. Формирование упрощенной модели СМ в сложной ЭЭС;
6. Формирование уравнения механического движения ротора АД;
7. Формирование компактной формы записи уравнений АД;
8. Сопоставление матричных уравнений для статора СМ и АД.

3.4. Темы лабораторных работ

не предусмотрено

3.5 Консультации

Групповые консультации по разделам дисциплины (ГК)

1. Обсуждение материалов по вопросам раздела "Модели простейшего сетевого элемента ЭЭС"
2. Обсуждение материалов по вопросам раздела "Преобразование системы уравнений элементов ЭЭС"
3. Обсуждение материалов по вопросам раздела "Математическая модель синхронной машины и схема замещения"
4. Обсуждение материалов по вопросам раздела "Математическая модель асинхронного двигателя"
5. Обсуждение материалов по вопросам раздела "Математическое описание ЭЭС для анализа статической устойчивости"
6. Обсуждение материалов по вопросам раздела "Математическое описание ЭЭС для анализа переходных процессов"

3.6 Тематика курсовых проектов/курсовых работ

Курсовой проект/ работа не предусмотрены

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: | | | | | | | | |
| современные математические модели отдельных элементов ЭЭС | ИД-3ПК-1 | + | + | | | | | Контрольная работа/Выбор модели трехфазного RL-элемента ВЛ |
| способы формирования модели сложной энергосистемы для решения различных задач энергетики | ИД-3ПК-2 | | | + | | | | Контрольная работа/Модель синхронной машины |
| Уметь: | | | | | | | | |
| применять методы формирования моделей ЭЭС при проектировании электроэнергетических систем | ИД-3ПК-1 | | | | + | | | Контрольная работа/Модель асинхронной машины |
| обосновывать конкретные решения по использованию определенных моделей сложной электроэнергетической системы | ИД-3ПК-2 | | | | | + | + | Контрольная работа/Модели элементов сети в сложной ЭЭС |

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: Письменная работа

1. Выбор модели трехфазного RL-элемента ВЛ (Контрольная работа)
2. Модели элементов сети в сложной ЭЭС (Контрольная работа)
3. Модель асинхронной машины (Контрольная работа)
4. Модель синхронной машины (Контрольная работа)

Балльно-рейтинговая структура дисциплины является приложением А.

4.2 Промежуточная аттестация по дисциплине

Экзамен (Семестр №3)

Оценка за освоение дисциплины, определяется с учетом оценки на экзамене, и соотношения весовых коэффициентов различных видов текущего контроля. Оценка рассчитывается из условия: $0,5(\text{среднеарифметическая оценка за контрольные работы} + \text{за работу на практических занятиях}) + 0,5(\text{оценка на экзамене})$

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. Строев В.А.- "Основы современной энергетики : в 2 т. Том 2. Современная электроэнергетика", Издательство: "МЭИ", Москва, 2019
<https://www.studentlibrary.ru/book/ISBN9785383013380.html>;
2. Идельчик, В. И. Электрические системы и сети : учебник для электроэнергетических специальностей / В. И. Идельчик . – 2-е изд., стер., перепеч. с изд. 1989 г . – М. : Альянс, 2009 . – 592 с. - ISBN 978-5-903034-76-5 .;
3. Строев, В. А. Математическое моделирование элементов электрических систем: Курс лекций : Учебное пособие по курсу "Математическое моделирование элементов ЭЭС" по направлению "Электроэнергетика" / В. А. Строев, С. В. Шульженко, Моск. энерг. ин-т (МЭИ ТУ) . – М. : Изд-во МЭИ, 2002 . – 56 с. - ISBN 5-7046-0818-3 .;
4. Переходные процессы электрических систем в примерах и иллюстрациях : Учебное пособие для втузов / Н. Д. Анисимова, и др. ; Ред. В. А. Веников . – 2-е изд., доп . – М.-Л. : Энергия, 1967 . – 456 с.;
5. Веников, В. А. Переходные электромеханические процессы в электрических системах : Учебник для электроэнергетических специальностей вузов / В. А. Веников . – 3-е изд., перераб. и доп . – М. : Высшая школа, 1978 . – 415 с..

5.2 Лицензионное и свободно распространяемое программное обеспечение:

1. СДО "Прометей";
2. Office / Российский пакет офисных программ;
3. MathCad;

4. AutoCAD/ T Flex CAD (версия для обучающихся и преподавателей);
5. RastrWin.

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

1. ЭБС Лань - <https://e.lanbook.com/>
2. База данных Scopus - <http://www.scopus.com>
3. Национальная электронная библиотека - <https://rusneb.ru/>
4. Электронная библиотека МЭИ (ЭБ МЭИ) - <http://elib.mpei.ru/login.php>

6. МАТЕРИАЛЬНО-ТЕХНИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ

| Тип помещения | Номер аудитории, наименование | Оснащение |
|--|---|---|
| Учебные аудитории для проведения практических занятий, КР и КП | Д-209, Учебная аудитория | парта со скамьей, стол преподавателя, стул, доска меловая |
| Учебные аудитории для проведения лабораторных занятий | Д-209, Учебная аудитория | парта со скамьей, стол преподавателя, стул, доска меловая |
| Помещения для самостоятельной работы | Д-2/12(1), Кабинет сотрудников каф. "ЭЭС" | кресло рабочее, рабочее место сотрудника, стол для работы с документами, стул, шкаф для документов, шкаф для одежды, стол письменный, тумба, колонки звуковые, многофункциональный центр, компьютер персональный, принтер, документы, журналы, книги, учебники, пособия, канцелярский принадлежности, зеркала |
| Помещения для консультирования | Д-2/12(2), Кабинет сотрудников каф. "ЭЭС" | кресло рабочее, стол для работы с документами, стул, шкаф для документов, вешалка для одежды, тумба, стол для совещаний, принтер, кондиционер, журналы, книги, учебники, пособия, канцелярский принадлежности |
| Помещения для хранения оборудования и учебного инвентаря | Д-12, Кладовая | стеллаж, стол, стул |

БАЛЛЬНО-РЕЙТИНГОВАЯ СТРУКТУРА ДИСЦИПЛИНЫ

Методы моделирования элементов ЭЭС

(название дисциплины)

3 семестр

Перечень контрольных мероприятий текущего контроля успеваемости по дисциплине:

КМ-1 Выбор модели трехфазного RL-элемента ВЛ (Контрольная работа)

КМ-2 Модель синхронной машины (Контрольная работа)

КМ-3 Модель асинхронной машины (Контрольная работа)

КМ-4 Модели элементов сети в сложной ЭЭС (Контрольная работа)

Вид промежуточной аттестации – Экзамен.

| Номер раздела | Раздел дисциплины | Индекс КМ: | КМ-1 | КМ-2 | КМ-3 | КМ-4 |
|---------------|--|------------|------|------|------|------|
| | | Неделя КМ: | 4 | 8 | 12 | 15 |
| 1 | Модели простейшего сетевого элемента ЭЭС | | | | | |
| 1.1 | Модели простейшего сетевого элемента ЭЭС | | + | | | |
| 2 | Преобразование системы уравнений элементов ЭЭС | | | | | |
| 2.1 | Преобразование системы уравнений элементов ЭЭС | | + | | | |
| 3 | Математическая модель синхронной машины и схема замещения | | | | | |
| 3.1 | Математическая модель синхронной машины и схема замещения | | | + | | |
| 4 | Математическая модель асинхронного двигателя | | | | | |
| 4.1 | Математическая модель асинхронного двигателя | | | | + | |
| 5 | Математическое описание ЭЭС для анализа статической устойчивости | | | | | |
| 5.1 | Математическое описание ЭЭС для анализа статической устойчивости | | | | | + |
| 6 | Математическое описание ЭЭС для анализа переходных процессов | | | | | |
| 6.1 | Математическое описание ЭЭС для анализа переходных процессов | | | | | + |
| Вес КМ, %: | | | 25 | 25 | 25 | 25 |