

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

Направление подготовки/специальность: 11.03.04 Электроника и нанoeлектроника

Наименование образовательной программы: Промышленная электроника

Уровень образования: высшее образование - бакалавриат

Форма обучения: Очная

Рабочая программа дисциплины
МОДЕЛИРОВАНИЕ И АНАЛИЗ ЭЛЕКТРОННЫХ СХЕМ

| | |
|---|---|
| Блок: | Блок 1 «Дисциплины (модули)» |
| Часть образовательной программы: | Часть, формируемая участниками образовательных отношений |
| № дисциплины по учебному плану: | Б1.Ч.01.11 |
| Трудоемкость в зачетных единицах: | 7 семестр - 4; |
| Часов (всего) по учебному плану: | 144 часа |
| Лекции | 7 семестр - 16 часов; |
| Практические занятия | не предусмотрено учебным планом |
| Лабораторные работы | 7 семестр - 32 часа; |
| Консультации | проводится в рамках часов аудиторных занятий |
| Самостоятельная работа | 7 семестр - 95,7 часа; |
| в том числе на КП/КР | не предусмотрено учебным планом |
| Иная контактная работа | проводится в рамках часов аудиторных занятий |
| включая: Лабораторная работа Индивидуальный проект | |
| Промежуточная аттестация: | |
| Зачет с оценкой | 7 семестр - 0,3 часа; |

Москва 2023

ПРОГРАММУ СОСТАВИЛ:

Преподаватель

| | | |
|--|--|------------------------------|
| | Подписано электронной подписью ФГБОУ ВО «НИУ «МЭИ» | |
| | Сведения о владельце ЦЭП МЭИ | |
| | Владелец | Воронин И.П. |
| | Идентификатор | R7098c29a-VoroninIP-ac13e555 |

И.П. Воронин

СОГЛАСОВАНО:

Руководитель
образовательной программы

| | | |
|--|--|-------------------------------|
| | Подписано электронной подписью ФГБОУ ВО «НИУ «МЭИ» | |
| | Сведения о владельце ЦЭП МЭИ | |
| | Владелец | Рашитов П.А. |
| | Идентификатор | R66e8dfb1-RashitovPA-1953162c |

П.А. Рашитов

Заведующий выпускающей
кафедрой

| | | |
|--|--|-------------------------------|
| | Подписано электронной подписью ФГБОУ ВО «НИУ «МЭИ» | |
| | Сведения о владельце ЦЭП МЭИ | |
| | Владелец | Асташев М.Г. |
| | Идентификатор | R7a29e524-AstashevMG-0583186f |

М.Г. Асташев

1. ЦЕЛИ И ЗАДАЧИ ОСВОЕНИЯ ДИСЦИПЛИНЫ

Цель освоения дисциплины: состоит в изучении методов моделирования и анализа различных устройств промышленной электроники с использованием стандартных программных средств компьютерного моделирования

Задачи дисциплины

- приобретение навыков разработки моделей силовых схем промышленной электроники в среде компьютерного моделирования;
- приобретение навыков отладки моделей силовых схем промышленной электроники в среде компьютерного моделирования;
- приобретение навыков разработки моделей систем управления полупроводниковыми приборами в составе преобразовательных устройств в среде компьютерного моделирования;
- изучение типовых моделей реальных компонентов в среде компьютерного моделирования и их параметров.

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 строить физические и математические модели принципиальных схем, блоков, устройств и установок электроники и нанoeлектроники, осуществлять моделирование и анализ с использованием стандартных программных средств компьютерного моделирования | ИД-3ПК-1 Умеет строить и верифицировать физические и математические модели модулей, узлов, блоков электронных устройств | знать: - модели базовых схем однофазных выпрямителей; - модели базовых схем регуляторов напряжения и инверторов; - способы управления транзисторами и однооперационными тиристорами в среде моделирования; - модели базовых схем трехфазных выпрямителей; - модели типовых схем входных и выходных силовых фильтров. уметь: - рассчитывать параметры регуляторов напряжения и инверторов в среде моделирования; - рассчитывать параметры однофазных выпрямителей в среде моделирования; - идентифицировать модели входных и выходных силовых фильтров; - рассчитывать параметры систем управления транзисторами и однооперационными тиристорами в среде моделирования; - рассчитывать параметры трехфазных выпрямителей в среде моделирования. |

2. МЕСТО ДИСЦИПЛИНЫ В СТРУКТУРЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЙ ПРОГРАММЫ ВО

Дисциплина относится к основной профессиональной образовательной программе Промышленная электроника (далее – ОПОП), направления подготовки 11.03.04 Электроника и нанoeлектроника, уровень образования: высшее образование - бакалавриат.

Требования к входным знаниям и умениям:

- знать базовые схемы устройств выпрямителей, инверторов, преобразователей постоянного напряжения на неуправляемых, частично управляемых и полностью управляемых полупроводниковых приборах

- знать эквивалентные схемы замещения полупроводниковых компонентов в режимах насыщения и отсечки

- знать способы управления транзисторами и однооперационными тиристорами

- уметь теоретически рассчитывать параметры силовых схем преобразовательных устройств

- уметь представлять процессы в схеме в виде осциллограмм токов и напряжений в характерных узлах схемы

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 4 зачетных единицы, 144 часа.

| № 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 | Имитационное моделирование неуправляемого однофазного выпрямителя | 30 | 7 | 4 | 8 | - | - | - | - | - | - | 18 | - | <p><u>Самостоятельное изучение теоретического материала:</u> Изучение дополнительного материала по разделу "Имитационное моделирование неуправляемого однофазного выпрямителя"</p> <p><u>Изучение материалов литературных источников:</u> [1], 715-722</p> |
| 1.1 | Модели неуправляемых однофазных выпрямителей в среде Matlab | 30 | | 4 | 8 | - | - | - | - | - | - | 18 | - | |
| 2 | Имитационное моделирование неуправляемого трехфазного выпрямителя | 18 | | 2 | 4 | - | - | - | - | - | - | 12 | - | |
| 2.1 | Модели неуправляемых трехфазных выпрямителей в среде Matlab | 18 | | 2 | 4 | - | - | - | - | - | - | 12 | - | |
| 3 | Имитационное моделирование управляемого сетевого трехфазного выпрямителя | 20 | | 2 | 4 | - | - | - | - | - | - | 14 | - | |
| 3.1 | Модели управляемых трехфазных выпрямителей в среде | 20 | | 2 | 4 | - | - | - | - | - | - | 14 | - | |

| | | | | | | | | | | | | | |
|-----|--|--------------|-----------|-----------|----------|----------|----------|----------|----------|------------|-------------|-------------|---|
| | Matlab | | | | | | | | | | | | [2], 156-160 |
| 4 | Имитационное моделирование трехфазных сетевых выпрямителей с выходными фильтрами | 28 | 4 | 8 | - | - | - | - | - | - | 16 | - | <u>Самостоятельное изучение теоретического материала:</u> Изучение дополнительного материала по разделу "Имитационное моделирование трехфазных сетевых выпрямителей с выходными фильтрами" |
| 4.1 | Модели трехфазных сетевых выпрямителей с выходными фильтрами в среде Matlab | 28 | 4 | 8 | - | - | - | - | - | - | 16 | - | <u>Изучение материалов литературных источников:</u> [1], 138-155, 168-189 |
| 5 | Имитационное моделирование автономных преобразователей | 30 | 4 | 8 | - | - | - | - | - | - | 18 | - | <u>Самостоятельное изучение теоретического материала:</u> Изучение дополнительного материала по разделу "Имитационное моделирование автономных преобразователей" |
| 5.1 | Модели регуляторов напряжения и автономных инверторов в среде Matlab | 30 | 4 | 8 | - | - | - | - | - | - | 18 | - | <u>Изучение материалов литературных источников:</u> [1], 337-369 [3], 178-183 |
| | Зачет с оценкой | 18.0 | - | - | - | - | - | - | - | 0.3 | - | 17.7 | |
| | Всего за семестр | 144.0 | 16 | 32 | - | - | - | - | - | 0.3 | 78 | 17.7 | |
| | Итого за семестр | 144.0 | 16 | 32 | - | - | - | - | - | 0.3 | 95.7 | | |

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. Имитационное моделирование неуправляемого однофазного выпрямителя

1.1. Модели неуправляемых однофазных выпрямителей в среде Matlab

Общие вопросы создания моделей в пакете Simulink. Библиотеки пакета Simulink. Пакет расширения SimPowerSystems. Активные элементы силовых полупроводниковых преобразователей в пакете SimPowerSystems. Пассивные элементы силовых полупроводниковых преобразователей в SimPowerSystems.. Полупроводниковые элементы силовых преобразователей в пакете SimPowerSystems.. Исследование однофазного неуправляемого выпрямителя..

2. Имитационное моделирование неуправляемого трехфазного выпрямителя

2.1. Модели неуправляемых трехфазных выпрямителей в среде Matlab

Исследование трехфазного неуправляемого выпрямителя.. Создание и разработка силовой схемы неуправляемого трехфазного выпрямителя средствами библиотеки пакета SimPowerSystems.. Постановка датчиков токов и напряжений в основные ветви и узлы схемы с использованием компонентов библиотеки пакет Simulink.. Исследование процессов в силовой схеме по осциллограммам токов и напряжений, получаемых с установленных датчиков..

3. Имитационное моделирование управляемого сетевого трехфазного выпрямителя

3.1. Модели управляемых трехфазных выпрямителей в среде Matlab

Исследование трехфазного управляемого выпрямителя на однооперационных тиристорах.. Исследование способов формирования импульсов управления однооперационными тиристорами средствами библиотеки пакета Simulink.. Исследование процессов в силовой схеме по осциллограммам токов и напряжений, получаемых с установленных датчиков..

4. Имитационное моделирование трехфазных сетевых выпрямителей с выходными фильтрами

4.1. Модели трехфазных сетевых выпрямителей с выходными фильтрами в среде Matlab

Исследование работы трехфазного неуправляемого и управляемого выпрямителя с выходным фильтром. Исследование качества выходного напряжения на входе и выходе фильтров.

5. Имитационное моделирование автономных преобразователей

5.1. Модели регуляторов напряжения и автономных инверторов в среде Matlab

Исследование автономных преобразователей на полностью управляемых силовых приборах (транзисторах).. Исследование способов формирования импульсов управления транзисторами средствами библиотеки пакета Simulink.. Исследование процессов в схемах, представляющих собой каскад из стандартных преобразовательных схем..

3.3. Темы практических занятий

не предусмотрено

3.4. Темы лабораторных работ

1. Моделирование процессов в управляемом трехфазном выпрямителе с выходными фильтрами;
2. Моделирование процессов в управляемом трехфазном выпрямителе;
3. Моделирование процессов в автономных преобразователях;
4. Моделирование процессов в трехфазном инверторе напряжения;
5. Активные и пассивные компоненты силовых полупроводниковых преобразователей в пакете SimPowerSystems;
6. Общие вопросы создания моделей в пакете Simulink. Библиотеки пакета Simulink;
7. Моделирование процессов в неуправляемом трехфазном выпрямителе;
8. Моделирование процессов в неуправляемом однофазном выпрямителе.

3.5 Консультации

Текущий контроль (ТК)

1. Консультация по теме "Имитационное моделирование неуправляемого однофазного выпрямителя"
2. Консультация по теме "Имитационное моделирование неуправляемого трехфазного выпрямителя"
3. Консультация по теме "Имитационное моделирование управляемого сетевого трехфазного выпрямителя"
4. Консультация по теме "Имитационное моделирование трехфазных сетевых выпрямителей с выходными фильтрами"
5. Консультация по теме "Имитационное моделирование автономных преобразователей"

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 | |
| Знать: | | | | | | | |
| модели типовых схем входных и выходных силовых фильтров | ИД-3ПК-1 | | | | + | | Лабораторная работа/Моделирование процессов в управляемом трехфазном выпрямителе с выходными фильтрами Индивидуальный проект/Разработка имитационной модели преобразователя электрической энергии |
| модели базовых схем трехфазных выпрямителей | ИД-3ПК-1 | | + | | | | Лабораторная работа/Моделирование процессов в неуправляемом трехфазном выпрямителе Индивидуальный проект/Разработка имитационной модели преобразователя электрической энергии |
| способы управления транзисторами и однооперационными тиристорами в среде моделирования | ИД-3ПК-1 | | | + | | | Лабораторная работа/Моделирование процессов в управляемом трехфазном выпрямителе Индивидуальный проект/Разработка имитационной модели преобразователя электрической энергии |
| модели базовых схем регуляторов напряжения и инверторов | ИД-3ПК-1 | | | | | + | Лабораторная работа/Моделирование процессов в автономных преобразователях Индивидуальный проект/Разработка имитационной модели преобразователя электрической энергии |
| модели базовых схем однофазных выпрямителей | ИД-3ПК-1 | + | | | | | Лабораторная работа/Моделирование процессов в неуправляемом однофазном выпрямителе Индивидуальный проект/Разработка |

| | | | | | | |
|--|----------|--|---|---|---|--|
| | | | | | | имитационной модели преобразователя электрической энергии |
| Уметь: | | | | | | |
| рассчитывать параметры трехфазных выпрямителей в среде моделирования | ИД-3ПК-1 | | | + | | Лабораторная работа/Моделирование процессов в управляемом трехфазном выпрямителе Индивидуальный проект/Разработка имитационной модели преобразователя электрической энергии |
| рассчитывать параметры систем управления транзисторами и однооперационными тиристорами в среде моделирования | ИД-3ПК-1 | | | + | | Лабораторная работа/Моделирование процессов в неуправляемом трехфазном выпрямителе Индивидуальный проект/Разработка имитационной модели преобразователя электрической энергии |
| идентифицировать модели входных и выходных силовых фильтров | ИД-3ПК-1 | | | | + | Лабораторная работа/Моделирование процессов в управляемом трехфазном выпрямителе с выходными фильтрами Индивидуальный проект/Разработка имитационной модели преобразователя электрической энергии |
| рассчитывать параметры однофазных выпрямителей в среде моделирования | ИД-3ПК-1 | | + | | | Лабораторная работа/Моделирование процессов в неуправляемом однофазном выпрямителе Индивидуальный проект/Разработка имитационной модели преобразователя электрической энергии |
| рассчитывать параметры регуляторов напряжения и инверторов в среде моделирования | ИД-3ПК-1 | | | | | Лабораторная работа/Моделирование процессов в автономных преобразователях Индивидуальный проект/Разработка имитационной модели преобразователя электрической энергии |

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

4.1. Текущий контроль успеваемости

7 семестр

Форма реализации: Защита задания

1. Моделирование процессов в автономных преобразователях (Лабораторная работа)
2. Моделирование процессов в неуправляемом однофазном выпрямителе (Лабораторная работа)
3. Моделирование процессов в неуправляемом трехфазном выпрямителе (Лабораторная работа)
4. Моделирование процессов в управляемом трехфазном выпрямителе (Лабораторная работа)
5. Моделирование процессов в управляемом трехфазном выпрямителе с выходными фильтрами (Лабораторная работа)
6. Разработка имитационной модели преобразователя электрической энергии (Индивидуальный проект)

Балльно-рейтинговая структура дисциплины является приложением А.

4.2 Промежуточная аттестация по дисциплине

Зачет с оценкой (Семестр №7)

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

В диплом выставляется оценка за 7 семестр.

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

5. УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ

5.1 Печатные и электронные издания:

1. Сергиенко, А. Б. Цифровая обработка сигналов : учебное пособие для вузов по направлению 210300 "Радиотехника" / А. Б. Сергиенко . – 3-е изд . – СПб. : БХВ-Петербург, 2013 . – 768 с. – (Учебная литература для вузов) . - ISBN 978-5-9775-0915-2 .;
2. Д. В. Бурьков- "Mathcad, Matlab, Matlab Simulink, Scilab в электротехнике", Издательство: "Южный федеральный университет", Ростов-на-Дону, Таганрог, 2021 - (173 с.) <https://biblioclub.ru/index.php?page=book&id=691281>;
3. Ерин, С. В. Автоматизация инженерных расчетов с использованием пакета Scilab : практическое пособие / С. В. Ерин, Ю. Л. Николаев . – М. : Русайнс, 2018 . – 183 с. - ISBN 978-5-4365-1555-7 ..

5.2 Лицензионное и свободно распространяемое программное обеспечение:

1. СДО "Прометей";
2. Office / Российский пакет офисных программ;
3. Windows / Операционная система семейства Linux;
4. Видеоконференции (Майнд, Сберджаз, ВК и др);
5. Scilab;

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. 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 лекционных занятий и текущего контроля | Е-305, Аудитория для проведения лекционных и практических занятий | рабочее место сотрудника, стеллаж для хранения инвентаря, стол преподавателя, стул, вешалка для одежды, оборудование специализированное |
| | Ж-120, Машинный зал ИВЦ | сервер, кондиционер |
| Учебные аудитории для проведения практических занятий, КР и КП | Е-305, Аудитория для проведения лекционных и практических занятий | рабочее место сотрудника, стеллаж для хранения инвентаря, стол преподавателя, стул, вешалка для одежды, оборудование специализированное |
| | Ж-120, Машинный зал ИВЦ | сервер, кондиционер |
| Учебные аудитории для проведения лабораторных занятий | Е-101б, Компьютерный класс | стол, стул, шкаф, тумба, компьютерная сеть с выходом в Интернет, мультимедийный проектор, доска маркерная, компьютер персональный |
| Учебные аудитории для проведения промежуточной аттестации | Е-101б, Компьютерный класс | стол, стул, шкаф, тумба, компьютерная сеть с выходом в Интернет, мультимедийный проектор, доска маркерная, компьютер персональный |
| | Е-305, Аудитория для проведения лекционных и практических занятий | рабочее место сотрудника, стеллаж для хранения инвентаря, стол преподавателя, стул, вешалка для одежды, оборудование специализированное |
| | Ж-120, Машинный зал ИВЦ | сервер, кондиционер |
| Помещения для самостоятельной | НТБ-201, Компьютерный | стол компьютерный, стул, стол письменный, вешалка для одежды, |

| | | |
|--|---|--|
| работы | читальный зал | компьютерная сеть с выходом в Интернет, компьютер персональный, принтер, кондиционер |
| Помещения для консультирования | Е-324/6, Преподавательская каф. "Пром.эл." | кресло рабочее, стул, шкаф для документов, стол письменный, тумба, компьютерная сеть с выходом в Интернет, многофункциональный центр, компьютер персональный |
| Помещения для хранения оборудования и учебного инвентаря | Е-324/5, Методический кабинет каф. "Пром.эл." | парта, стул, вешалка для одежды, компьютерная сеть с выходом в Интернет, мультимедийный проектор, доска маркерная передвижная, ноутбук |

БАЛЛЬНО-РЕЙТИНГОВАЯ СТРУКТУРА ДИСЦИПЛИНЫ

Моделирование и анализ электронных схем

(название дисциплины)

7 семестр

Перечень контрольных мероприятий текущего контроля успеваемости по дисциплине:

- КМ-1 Моделирование процессов в неуправляемом однофазном выпрямителе (Лабораторная работа)
- КМ-2 Моделирование процессов в неуправляемом трехфазном выпрямителе (Лабораторная работа)
- КМ-3 Моделирование процессов в управляемом трехфазном выпрямителе (Лабораторная работа)
- КМ-4 Моделирование процессов в управляемом трехфазном выпрямителе с выходными фильтрами (Лабораторная работа)
- КМ-5 Моделирование процессов в автономных преобразователях (Лабораторная работа)
- КМ-6 Разработка имитационной модели преобразователя электрической энергии (Индивидуальный проект)

Вид промежуточной аттестации – Зачет с оценкой.

| Номер раздела | Раздел дисциплины | Индекс КМ: | КМ-1 | КМ-2 | КМ-3 | КМ-4 | КМ-5 | КМ-6 |
|---------------|--|------------|------|------|------|------|------|------|
| | | Неделя КМ: | 4 | 6 | 8 | 10 | 12 | 15 |
| 1 | Имитационное моделирование неуправляемого однофазного выпрямителя | | | | | | | |
| 1.1 | Модели неуправляемых однофазных выпрямителей в среде Matlab | | + | | | | | + |
| 2 | Имитационное моделирование неуправляемого трехфазного выпрямителя | | | | | | | |
| 2.1 | Модели неуправляемых трехфазных выпрямителей в среде Matlab | | | + | | | | + |
| 3 | Имитационное моделирование управляемого сетевого трехфазного выпрямителя | | | | | | | |
| 3.1 | Модели управляемых трехфазных выпрямителей в среде Matlab | | | | + | | | + |
| 4 | Имитационное моделирование трехфазных сетевых выпрямителей с выходными фильтрами | | | | | | | |
| 4.1 | Модели трехфазных сетевых выпрямителей с выходными фильтрами в среде Matlab | | | | | + | | + |
| 5 | Имитационное моделирование автономных преобразователей | | | | | | | |
| 5.1 | Модели регуляторов напряжения и автономных инверторов в среде Matlab | | | | | | + | + |
| Вес КМ, %: | | | 5 | 15 | 15 | 15 | 15 | 35 |