**МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ**

**Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования**

«ТОМСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ СИСТЕМ
УПРАВЛЕНИЯ И РАДИОЭЛЕКТРОНИКИ»
(ТУСУР)

УТВЕРЖДАЮ
Директор департамента науки и инноваций
_____ В. М. Рулевский
«___» _____ 20__ г.

РАБОЧАЯ ПРОГРАММА ДИСЦИПЛИНЫ

# Силовая электроника

Уровень образования: **высшее образование - подготовка кадров высшей квалификации**
Направление подготовки / специальность: **13.06.01 Электро- и теплотехника**
Направленность (профиль) / специализация: **Силовая электроника**
Форма обучения: **заочная**
Факультет: **ФЭТ, Факультет электронной техники**
Кафедра: **ПрЭ, Кафедра промышленной электроники**
Курс: **2, 3**
Семестр: **4, 5**
Учебный план набора 2015 года

Распределение рабочего времени

| № | Виды учебной деятельности | 4 семестр | 5 семестр | Всего | Единицы |
|---|---|---|---|---|---|
| 1 | Лекции | 6 | 0 | 6 | часов |
| 2 | Практические занятия | 2 | 4 | 6 | часов |
| 3 | Всего аудиторных занятий | 8 | 4 | 12 | часов |
| 4 | Самостоятельная работа | 60 | 32 | 92 | часов |
| 5 | Всего (без экзамена) | 68 | 36 | 104 | часов |
| 6 | Подготовка и сдача экзамена / зачета | 0 | 36 | 36 | часов |
| 7 | Общая трудоемкость | 68 | 72 | 140 | часов |
| | | | | 4.0 | З.Е. |

Дифференцированный зачет: 4 семестр
Экзамен: 5 семестр

Томск 2018

Документ подписан простой электронной подписью
Информация о владельце:
ФИО: Шелупанов А.А.
Должность: Ректор
Дата подписания: 24.06.2015
Уникальный программный ключ:
c53e145e-8b20-45aa-9347-a5e4dbb90e8d

Согласована на портале № 42618

Рассмотрена и одобрена на заседании кафедры
протокол № 1 от « 2 » 7 2018 г.

ЛИСТ СОГЛАСОВАНИЯ

Рабочая программа дисциплины составлена с учетом требований федерального государственного образовательного стандарта высшего образования (ФГОС ВО) по направлению подготовки (специальности) 13.06.01 Электро- и теплотехника, утвержденного 30.07.2014 года, рассмотрена и одобрена на заседании кафедры ПрЭ «___» _____ 20__ года, протокол №_____.

Разработчики:

| | | |
|---|---|---|
| профессор кафедра промышленной электроники (ПрЭ) | _____ | Г. Я. Михальченко |
| зав.кафедрой, профессор кафедра промышленной электроники (ПрЭ) | _____ | С. Г. Михальченко |
| Заведующий обеспечивающей каф. ПрЭ | _____ | С. Г. Михальченко |

Рабочая программа дисциплины согласована с факультетом и выпускающей кафедрой:

| | | |
|---|---|---|
| Декан ФЭТ | _____ | А. И. Воронин |
| Заведующий выпускающей каф. ПрЭ | _____ | С. Г. Михальченко |

Эксперты:

| | | |
|---|---|---|
| Заведующий аспирантурой | _____ | Т. Ю. Коротина |
| Профессор кафедры промышленной электроники (ПрЭ) | _____ | Н. С. Легостаев |

Согласована на портале № 42618

## 1. Цели и задачи дисциплины

### 1.1. Цели дисциплины

освоение методологии, овладение навыками моделирования, планирования, разработки и проведения теоретических и экспериментальных исследований силовых преобразователей электрической энергии, создания новых преобразователей, систем их автоматики, управления и защиты, обладающих высокой энергетической эффективностью, технологичностью, безопасностью в эксплуатации, удовлетворяющих требованиям по защите окружающей среды;

организация работы по подготовке к сдаче кандидатского экзамена по специальной дисциплине по специальности 05.09.12 - силовая электроника, в соответствии с Номенклатурой специальностей научных работников, утвержденной приказом Минобрнауки России № 59 от 25.02.2009 г.

### 1.2. Задачи дисциплины

– изучить принципы протекания электрических и электромагнитных процессов в силовых, полупроводниковых преобразователях и технических устройствах на их основе;

– изучить типовые структуры силовых преобразователей, а также систем управления ими;

– изучить технологию проектирования, создания и проведения испытаний преобразователей электрической энергии;

– освоить навыки проектирования программных средств управления потоками энергии в преобразователях, различными видами модуляции;

– освоить методы анализа и экспериментальных исследований процессов преобразования (выпрямления, инвертирования, импульсного, частотного и фазочастотного регулирования и т.п.) в устройствах силовой электроники с целью улучшения их технико-экономических и эксплуатационных характеристик;

– изучить научные подходы, методы, алгоритмы и программы, обеспечивающие адекватное отражение в моделях физической сущности электромагнитных процессов и законов функционирования устройств силовой электроники;

– получить навыки проведения комплексной отладки и тестирования систем управления устройствами силовой электроники;

– освоить методологию планирования и проведения теоретических и экспериментальных исследований преобразователей и их математического моделирования;

– выработать навыки создания новых преобразователей, систем их автоматики, управления и защиты, обладающих высокой энергетической эффективностью, технологичностью, безопасностью в эксплуатации, удовлетворяющих требованиям по защите окружающей среды.

## 2. Место дисциплины в структуре ОПОП

Дисциплина «Силовая электроника» (Б1.В.ОД.1) относится к блоку 1 (вариативная часть).

Предшествующими дисциплинами, формирующими начальные знания, являются: Интеллектуальная силовая электроника, Информационные и электронные ресурсы в организации научных исследований, Математическое моделирование силовых преобразователей, Практика по получению профессиональных умений и опыта профессиональной деятельности (научная практика), Программное и учебно-методическое обеспечение дисциплины.

Последующими дисциплинами являются: Научно-исследовательская деятельность (рассред.), Подготовка к сдаче и сдача государственного экзамена, Подготовка научно-квалификационной работы (диссертации) на соискание ученой степени кандидата наук (рассред.), Представление научного доклада об основных результатах подготовленной научно-квалификационной работы (диссертации).

## 3. Требования к результатам освоения дисциплины

Процесс изучения дисциплины направлен на формирование следующих компетенций:

– ПК-3 способность планировать и проводить исследования в области систем энергообеспечения;

В результате изучения дисциплины обучающийся должен:

Согласована на портале № 42618

– **знать** типовые структуры силовых преобразователей электрической энергии, их свойства и назначение; способы управления потоками энергии в преобразователях, виды модуляции и их особенности; архитектуру цифровых систем управления, типовые алгоритмы управления коммутационными элементами преобразователя; методологию планирования и проведения теоретических и экспериментальных исследований и испытаний силовых преобразователей.

– **уметь** проектировать, создавать и проводить испытания силовых преобразователей; строить имитационные математические модели силовых преобразователей в выбранном САПР электронных схем; разрабатывать программные комплексы управления коммутационными элементами преобразователей; проводить комплексную отладку, тестирование, настройку и испытания силовых преобразователей.

– **владеть** инструментами сквозного проектирования силовых импульсно-модуляционных преобразователей; средствами комплексной отладки и тестирования систем управления преобразователями; навыками создания, настройки и проведения испытаний преобразователей электрической энергии; методологией и инструментарием моделирования, планирования и проведения теоретических и экспериментальных исследований устройств силовой электроники.

## 4. Объем дисциплины и виды учебной работы

Общая трудоемкость дисциплины составляет 4.0 зачетных единицы и представлена в таблице 4.1.

Таблица 4.1 – Трудоемкость дисциплины

| Виды учебной деятельности | Всего часов | Семестры | |
|---|---|---|---|
| | | 4 семестр | 5 семестр |
| Аудиторные занятия (всего) | 12 | 8 | 4 |
| Лекции | 6 | 6 | 0 |
| Практические занятия | 6 | 2 | 4 |
| Самостоятельная работа (всего) | 92 | 60 | 32 |
| Проработка лекционного материала | 18 | 18 | 0 |
| Подготовка к практическим занятиям, семинарам | 74 | 42 | 32 |
| Всего (без экзамена) | 104 | 68 | 36 |
| Подготовка и сдача экзамена / зачета | 36 | 0 | 36 |
| Общая трудоемкость, ч | 140 | 68 | 72 |
| Зачетные Единицы | 4.0 | | |

## 5. Содержание дисциплины

### 5.1. Разделы дисциплины и виды занятий

Разделы дисциплины и виды занятий приведены в таблице 5.1.

Таблица 5.1 – Разделы дисциплины и виды занятий

| Названия разделов дисциплины | Лек., ч | Прак. зан., ч | Сам. раб., ч | Всего часов (без экзамена) | Формируемые компетенции |
|---|---|---|---|---|---|
| 4 семестр | | | | | |
| 1 Современное состояние и перспективы развития силовой электроники | 2 | 1 | 20 | 23 | ПК-3 |
| 2 Современная и перспективная элементная база силовой электроники | 2 | 1 | 20 | 23 | ПК-3 |

Согласована на портале № 42618

| | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| 3 Принципы преобразования электрической энергии | 2 | 0 | 20 | 22 | ПК-3 |
| Итого за семестр | 6 | 2 | 60 | 68 | |
| 5 семестр | | | | | |
| 4 Математическое описание активных преобразователей на основе коммутационно-разрывных функций | 0 | 2 | 10 | 12 | ПК-3 |
| 5 Преобразователи электрической энергии импульсно-модуляционного типа | 0 | 1 | 10 | 11 | ПК-3 |
| 6 Энергосберегающие технологии | 0 | 1 | 12 | 13 | ПК-3 |
| Итого за семестр | 0 | 4 | 32 | 36 | |
| Итого | 6 | 6 | 92 | 104 | |

### 5.2. Содержание разделов дисциплины (по лекциям)

Содержание разделов дисциплин (по лекциям) приведено в таблице 5.2.

Таблица 5.2 – Содержание разделов дисциплин (по лекциям)

| Названия разделов | Содержание разделов дисциплины (по лекциям) | Трудоемкость, ч | Формируемые компетенции |
|---|---|---|---|
| 4 семестр | | | |
| 1 Современное состояние и перспективы развития силовой электроники | Состояние и перспективы развития силовой электроники. Современная элементная база силовой электроники. Электронные компоненты. Неуправляемые диоды, биполярные транзисторы, мощные полевые транзисторы (MOSFET), биполярные транзисторы с изолированным затвором (IGBT). Управление мощными силовыми транзисторами.Драйверы управления мощными транзисторами. Быстродействующие драйверы, управляющие MOSFET. Одноканальный драйвер с защитой по току управляемого ключа. Драйверы IGBT с расширенными функциональными возможностями. Драйверы, управляющие стойкой транзисторов. Интеллектуальные силовые ключи.Магнитные материалы и сердечники. Общие свойства магнитных материалов. Аморфное железо и сплавы на основе кобальта. Электротехническая сталь и никелевые сплавы. Ферриты. Порошковые материалы. Дроссели. Сглаживающие дроссели. Дроссели переменного тока. Методика расчета дросселей. Трансформаторы. Расчетные соотношения. Методика расчета высокочастотного трансформатора и примеры расчета. Планарные трансформаторы. Конденсаторы с большим зарядом и энергией. алюминиевые электролитические конденсаторы. Танталовые конденсаторы. Пленочные конденсаторы. Керамические конденсато- | 2 | ПК-3 |

Согласована на портале № 42618

| | | | |
|---|---|---|---|
| | ры. Варисторы и газовые разрядники. | | |
| | Итого | 2 | |
| 2 Современная и перспективная элементная база силовой электроники | Выпрямители. Основные схемы классических выпрямителей. Активные преобразователи тока и напряжения. Активный выпрямитель тока. Активный выпрямитель напряжения. Составные выпрямители с промежуточным звеном повышенной частоты. Идеальный выпрямитель с промежуточным звеном повышенной частоты на ключах переменного тока.Математическое описание активных преобразователей на основе коммутационных разрывных функций и метода пространства состояний. Математическое описание трехфазного мостового активного выпрямителя напряжения (АВН) и активного выпрямителя тока (АВТ). Алгоритмы и системы управления активными преобразователями тока и напряжения. Контроллеры управления преобразовг телями. Контроллеры управления DC DC преобразователями. Контроллеры управления корректорами коэффициента мощности. Контроллеры управления мостовыми каскадами методом фазового сдвига. Примеры применения контроллеров управления.Аппаратная и программная реализация методов теории автоматического управления сложными системами - переходные процессы, установление, устойчивость, бифуркационные явления, основы теории хаоса. Программные и аппаратные средства реализации энергоэффективных способов управления преобразователем, мягкая коммутация силовых ключей, минимизация внутренней энергии преобразователя. | 2 | ПК-3 |
| | Итого | 2 | |
| 3 Принципы преобразования электрической энергии | Непосредственные преобразователи постоянного напряжения (НПН) с квазирезонансной коммутацией. Квазирезонансные преобразователи. Квазирезонансный понижающий преобразователь (КРП) с переключением в нуль тока (ПНТ). Квазирезонансный повышающий преобразователь (КРП) с переключением в нуль напряжения (ПНН).Автономные инверторы напряжения и тока (АНН и АНТ). Автономные инверторы с широтно-импульсной модуляцией (АИ с ШИМ). Трехфазные автономные инверторы с век- | 2 | ПК-3 |

Согласована на портале № 42618

| | | | |
|---|---|---|---|
| | торной ШИМ. Трехфазные инверторы с мультирезонансной коммутацией.Аналого-цифровые преобразователи. Дискретность сигнала, частота дискретизации, Теорема Котельникова. Типы и архитектура АЦП. Встроенные АЦП и периферийные модули АЦП. Тактирование микросхем. Время преобразования. Реализация цифрового интерфейса передачи данных в микропроцессорной системе. Вопросы электромагнитной совместимости силовой части и МПСУ.Устройства силовой электроники в энергосберегающих технологиях. Транзисторные схемы электронных бапластов для флюоресцентных ламп, принцип действия и основные характеристики. Энергоэффективные драйверы для светодиодных осветительных приборов, принцип действия и основные характеристики. Преобразователи частоты на основе активных выпрямителей и автономных инверторов в системах частотно-регулируемых электроприводов. Преобразователи с многозонной импульсной модуляцией (МИМ). | | |
| | Итого | 2 | |
| Итого за семестр | | 6 | |
| Итого | | 6 | |

**5.3. Разделы дисциплины и междисциплинарные связи с обеспечивающими (предыдущими) и обеспечиваемыми (последующими) дисциплинами**

Разделы дисциплины и междисциплинарные связи с обеспечивающими (предыдущими) и обеспечиваемыми (последующими) дисциплинами представлены в таблице 5.3.

Таблица 5.3 – Разделы дисциплины и междисциплинарные связи

| Наименование дисциплин | № разделов данной дисциплины, для которых необходимо изучение обеспечивающих и обеспечиваемых дисциплин | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 |
| Предшествующие дисциплины | | | | | | |
| 1 Интеллектуальная силовая электроника | + | + | + | + | + | + |
| 2 Информационные и электронные ресурсы в организации научных исследований | + | + | | + | | + |
| 3 Математическое моделирование силовых преобразователей | + | + | + | + | + | + |
| 4 Практика по получению профессиональных умений и опыта профессиональной деятельности (научная практика) | + | + | + | + | + | + |
| 5 Программное и учебно-методиче- | | + | | + | + | + |

Согласована на портале № 42618

| | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| ское обеспечение дисциплины | | | | | | |
| Последующие дисциплины | | | | | | |
| 1 Научно-исследовательская деятельность (рассред.) | + | + | + | + | + | + |
| 2 Подготовка к сдаче и сдача государственного экзамена | + | + | + | + | + | + |
| 3 Подготовка научно-квалификационной работы (диссертации) на соискание ученой степени кандидата наук (рассред.) | + | + | + | + | + | + |
| 4 Представление научного доклада об основных результатах подготовленной научно-квалификационной работы (диссертации) | + | + | + | + | + | + |

**5.4. Соответствие компетенций, формируемых при изучении дисциплины, и видов занятий**

Соответствие компетенций, формируемых при изучении дисциплины, и видов занятий представлено в таблице 5.4.

Таблица 5.4 – Соответствие компетенций, формируемых при изучении дисциплины, и видов занятий

| Компетенции | Виды занятий | | | Формы контроля |
|---|---|---|---|---|
| | Лек. | Прак. зан. | Сам. раб. | |
| ПК-3 | + | + | + | Отчет по индивидуальному заданию, Конспект самоподготовки, Опрос на занятиях, Тест, Отчет по практическому занятию |

## 6. Интерактивные методы и формы организации обучения

Не предусмотрено РУП.

## 7. Лабораторные работы

Не предусмотрено РУП.

## 8. Практические занятия (семинары)

Наименование практических занятий (семинаров) приведено в таблице 8.1.

Таблица 8.1 – Наименование практических занятий (семинаров)

| Названия разделов | Наименование практических занятий (семинаров) | Трудоемкость, ч | Формируемые компетенции |
|---|---|---|---|
| 4 семестр | | | |
| 1 Современное состояние и перспективы развития силовой электроники | 1. Научный руководитель формулирует индивидуальное задание в соответствии с тематикой разрабатываемой научно-квалификационной работы. Составление ТЗ на проектирование силового преобразователя (СП) в соответствии с индивидуальным заданием. 2. Разработать структурную схему аппаратной части СП, включающей микропроцессорную систему управления (МПСУ) коммутационными устройствами СП. 3. Выбрать датчики и определиться с каналами передачи информации в МПСУ. | 1 | ПК-3 |

Согласована на портале № 42618

| | | | |
|---|---|---|---|
| | 4. Предусмотреть приборы (адаптеры и драйвера) для согласование уровней и типов сигналов. 5. Разработать схему подключения первичных источников электроэнергии и нагрузки. 6. Спроектировать структуру программного обеспечения МПСУ преобразователя. 7. Разработать дерево вызова процедур ПО, включающее списки формальных параметров (аргументов) подпрограмм и выходных данных этих подпрограмм. 8. Произвести предварительную оценку показателей энергоэффективности и экономической целесообразности разработки. | | |
| | Итого | 1 | |
| 2 Современная и перспективная элементная база силовой электроники | 1. В соответствии с индивидуальным заданием проработать технологические требования к техническим параметрам эксплуатации преобразователя, поведению и режимам нагрузки. Сформулировать целевые функции оптимизации параметров. 2. Провести работу по моделированию энергетического канала СП, рассмотреть все известные варианты структур и обосновать выбор структурной схемы. 3. С учетом заданных характеристик выходного сигнала и влияния на питающую сеть, разработать систему управления полупроводниковыми ключами СП. Выбрать силовые ключи и драйвера. 4. Определиться с видом коммутации и с её частотными характеристиками5. Рассчитать статические и динамические характеристики СП. 6. Рассчитать передаточную функцию обратной связи (ОС) с точки зрения теории автоматического управления, выбрать корректирующие звенья, провести синтез регулятора.7. Спроектировать регулятор, настроенный на тот или иной оптимум, в зависимости от требуемого характера выходного сигнала. 8. Выбрать датчики ОС и определиться с каналами передачи информации в МПСУ.9. Предусмотреть приборы (адаптеры) для согласование уровней и типов сигналов. 10. Разработать схему подключения МПСУ к силовому каналу. Рассмотреть вопросы гальванической развязки. | 1 | ПК-3 |
| | Итого | 1 | |
| Итого за семестр | | 2 | |
| 5 семестр | | | |
| 4 Математическое описание активных | 1. В соответствии с индивидуальным заданием провести работу по проектированию | 1 | ПК-3 |

Согласована на портале № 42618

| | | | |
|---|---|---|---|
| преобразователей на основе коммутационно-разрывных функций | структурной схемы каналов сбора, предварительной обработки и передачи данных МПСУ СП. 2. Разработать схему электрическую принципиальную силового преобразователя. 3. Разработать схему электрическую принципиальную МПСУ СП, создать перечень элементной базы и схемы моточных изделий. 4. Разработать печатную плату МПСУ, разработать схему электрического и планарного монтажа. 5. Проработать структуру программного обеспечения МПСУ комплекса. 6. Выбрать средства проектирования и методы автономной отладки программных средств аппаратных комплексов и систем. 7. Определиться с алгоритмами верхнего уровня управления СП. Заложить в структуру программного обеспечения (ПО) коммуникационные подпрограммы. 8. Разработать дерево вызова подпрограмм, включающее списки формальных параметров (аргументов) подпрограмм и выходных данных этих подпрограмм. | | |
| | 1. Разработать имитационную математическую модель СП. Построить spice-модели силовых элементов, моточных изделий (дросселей и трансформаторов). 2. Запрограммировать систему управления ключами в математической модели СП. 3. Разрешить вопросы мягкой коммутации, рассчитать требуемые постоянные времени резонансных контуров, сделать вывод о возможности реализации мягких режимов работы силовых ключей. 4. Произвести вычислительные эксперименты. Получить мгновенные значения выходных параметров СП. Построить основные характеристики: нагрузочную, регулировочную, спектр, рассчитать к.п.д.5. Оценить динамические параметры работы преобразователя – величину перерегулирования, время установления, размах пульсаций и пр. Подтвердить (и при необходимости, скорректировать) расчеты регулятора в цепях ОС МПСУ. 6. Произвести вычислительные эксперименты при варьировании основных параметров модели, питающего напряжения и режимов работы нагрузки. Построить бифуркационные картины.7. Провести анализ устойчивости режимов работы преобразователя, проанализировать выявленные аномальные режимы – насколько они критичны с т.з. энергетических показателей, средства их устранения. | 1 | |

Согласована на портале № 42618

| | | | |
|---|---|---|---|
| | 8. Составить научно обоснованные рекомендации к параметрам выбираемой элементной базы.9. Произвести выбор элементов. Обосновать корпуса и рассчитать систему отвода тепла.10. Произвести тепловой расчет и уточнить к.п.д. | | |
| | Итого | 2 | |
| 5 Преобразователи электрической энергии импульсно-модуляционного типа | 1. В соответствии с индивидуальным заданием провести работу по проектированию каналов сбора, предварительной обработки и передачи данных МПСУ – рассчитать и выбрать АЦП, ЦАП и ШИМ. 2. Рассчитать и выбрать аналого-цифровые преобразователи МПСУ, в зависимости от заданной точности измерения и представления сигнала в системе управления, рассчитать необходимую дискретность сигнала, а в зависимости от быстродействия системы - частоту дискретизации. 3. Выбрать из предлагаемого на рынке ряда типы и архитектуру АЦП, определиться с необходимостью реализации встроенных АЦП в МП или рассчитать периферийные модули АЦП. 4. Рассчитать необходимое время преобразования. Определиться с тактовой частотой МП и реализовать канал тактирования микросхем МПСУ. 5. Реализовать необходимые цифровые интерфейсы передачи данных в МПСУ, согласовать технологии и уровни сигналов. Разработать схему принципиальную МПСУ. 6. Рассмотреть вопросы защиты МПСУ от воздействия помех. 7. Проработать задачи электромагнитной совместимости МПСУ и силовой части СП, учесть расположение силовых цепей. 8. При необходимости разработать механизмы фильтрации в аналоговых и цифровых каналах передачи данных. Возможно, применить программные фильтры в ПО МПСУ СП. 9. Обосновать выбор датчиков и адаптеров. | 1 | ПК-3 |
| | Итого | 1 | |
| 6 Энергосберегающие технологии | 1. Разработать эскизную конструкторскую документацию (ЭКД) на СП, в частности:2. Спроектировать принципиальную схему силовой части и МПСУ с перечнем элементов;3. Спроектировать печатную плату силовой части преобразователя и МПСУ, разработать схему электрического и планарного монтажа;4. Рассчитать, спроектировать и разработать чертежи и схемы моточных изделий;5. Соста- | 1 | ПК-3 |

Согласована на портале № 42618

| | | | |
|---|---|---|---|
| | вить программный код МПСУ, используя типовые конфигурации программной части систем управления. 6. Произвести испытания (или макетирование на эмуляторах) силовой части СП на холостом ходу и под нагрузкой. Подготовить протокол испытаний. 7. Произвести оценку эффективности алгоритмов управления, скорректировать ЭКД СП. 8. Проверить устойчивость алгоритмов работы МПСУ СП.9. Провести оценку устойчивости выходных сигналов СП на макете при вариации параметров.10. Подготовить завершающий отчет по индивидуальному заданию, включающий расчеты, схемы, протоколы испытаний и анализ работы ЭтКиС. | | |
| | Итого | 1 | |
| Итого за семестр | | 4 | |
| Итого | | 6 | |

## 9. Самостоятельная работа

Виды самостоятельной работы, трудоемкость и формируемые компетенции представлены в таблице 9.1.

Таблица 9.1 – Виды самостоятельной работы, трудоемкость и формируемые компетенции

| Названия разделов | Виды самостоятельной работы | Трудоемкость, ч | Формируемые компетенции | Формы контроля |
|---|---|---|---|---|
| 4 семестр | | | | |
| 1 Современное состояние и перспективы развития силовой электроники | Подготовка к практическим занятиям, семинарам | 14 | ПК-3 | Опрос на занятиях, Отчет по индивидуальному заданию, Тест |
| | Проработка лекционного материала | 6 | | |
| | Итого | 20 | | |
| 2 Современная и перспективная элементная база силовой электроники | Подготовка к практическим занятиям, семинарам | 14 | ПК-3 | Опрос на занятиях, Отчет по индивидуальному заданию, Тест |
| | Проработка лекционного материала | 6 | | |
| | Итого | 20 | | |
| 3 Принципы преобразования электрической энергии | Подготовка к практическим занятиям, семинарам | 14 | ПК-3 | Опрос на занятиях, Отчет по индивидуальному заданию, Тест |
| | Проработка лекционного материала | 6 | | |
| | Итого | 20 | | |
| Итого за семестр | | 60 | | |
| 5 семестр | | | | |
| 4 Математическое | Подготовка к практиче- | 10 | ПК-3 | Отчет по индиви- |

Согласована на портале № 42618

| | | | | |
|---|---|---|---|---|
| описание активных преобразователей на основе коммутационно-разрывных функций | ским занятиям, семинарам | | | дуальному заданию, Тест |
| | Итого | 10 | | |
| 5 Преобразователи электрической энергии импульсно-модуляционного типа | Подготовка к практическим занятиям, семинарам | 10 | ПК-3 | Отчет по индивидуальному заданию, Тест |
| | Итого | 10 | | |
| 6 Энергосберегающие технологии | Подготовка к практическим занятиям, семинарам | 12 | ПК-3 | Отчет по индивидуальному заданию, Тест |
| | Итого | 12 | | |
| Итого за семестр | | 32 | | |
| | Подготовка и сдача экзамена | 36 | | Экзамен |
| Итого | | 128 | | |

## 10. Курсовой проект / курсовая работа

Не предусмотрено РУП.

## 11. Рейтинговая система для оценки успеваемости обучающихся

Рейтинговая система не используется.

## 12. Учебно-методическое и информационное обеспечение дисциплины

### 12.1. Основная литература

1. Современные проблемы электроэнергетики [Электронный ресурс]: Учебное пособие / Ушаков В.Я. - Томск Изд-во Томского политех. университета, 2014. - 447 с. ISBN 978-5-4387-0521-5 - Режим доступа: http://znanium.com/bookread2.php?book=701886 (дата обращения: 11.08.2018).

2. Непосредственные преобразователи частоты с естественной коммутацией для электромеханических систем / Грабовецкий Г.В., Куклин О.Г., Харитонов С.А. - Новосиб. [Электронный ресурс]: НГТУ, 2009. - 320 с. ISBN 978-5-7782-1260-2 - Режим доступа: http://znanium.com/bookread2.php?book=557096 (дата обращения: 11.08.2018).

3. Структурный синтез многофазных вентильных преобразователей / Евдокимов С.А., Щуров Н.И. - Новосиб. [Электронный ресурс]: НГТУ, 2010. - 423 с. ISBN 978-5-7782-1406-4 - Режим доступа: http://znanium.com/bookread2.php?book=556797 (дата обращения: 11.08.2018).

4. Иванчура, В. И. Быстродействующие импульсные стабилизаторы напряжения [Электронный ресурс] [Электронный ресурс]: монография / В. И. Иванчура, Д. В. Капулин, Ю. В. Краснобаев. - Красноярск Сиб. федер. ун-т, 2011. - 172 с. - ISBN 978-5-7638-2317-2. - Режим доступа: http://znanium.com/bookread2.php?book=441448 (дата обращения: 11.08.2018).

### 12.2. Дополнительная литература

1. Михальченко С.Г. Разработка эффективного управления компонентами электротехнических комплексов и систем [Электронный ресурс]: Методические указания для проведения практических работ // С. Г. Михальченко; Томский государственный университет систем управления и радиоэлектроники, Кафедра промышленной электроники – Томск ТУСУР, 2018. – 20 с. прил. – Библиогр. с. 17. - Режим доступа: http://ie.tusur.ru/docs/msg/reukeks_mu.pdf (дата обращения: 11.08.2018).

2. Москаленко, В.В. Электрический привод [Электронный ресурс]: Учебник / В.В. Моска-

Согласована на портале № 42618

ленко. − М. ИНФРА-М, 2015. – 364 с. - Режим доступа: http://znanium.com/bookread2.php?book=443646 (дата обращения: 11.08.2018).

3. Теоретические основы автоматизированного управления [Электронный ресурс]: Учебник / Ехлаков Ю. П. - 2001. 338 с. - Режим доступа: https://edu.tusur.ru/publications/668 (дата обращения: 11.08.2018).

4. Морозов Виктор Михайлович, Системное моделирование и методы исследования математических моделей / Морозов В.М. - М. [Электронный ресурс]: КУРС, НИЦ ИНФРА-М, 2016. - 243 с. 60x90 1/16 ISBN 978-5-906818-32-4. - Режим доступа: http://znanium.com/bookread2.php?book=544536 (дата обращения: 11.08.2018).

5. Техника высоких напряжений [Электронный ресурс]: Учебник / Важов В.Ф., Лавринович В.А. - М.НИЦ ИНФРА-М, 2017. - 256 с. 60x90 1/16. ISBN 978-5-16-010565-9. - Режим доступа: http://znanium.com/bookread2.php?book=561018 (дата обращения: 11.08.2018).

6. Онищенко, Г.Б. Теория электропривода [Электронный ресурс]: Учебник / Г.Б. Онищенко. – М. ИНФРА-М, 2015. – 294 с. - Режим доступа: http://znanium.com/bookread2.php?book=452841 (дата обращения: 11.08.2018).

7. Системы реального времени [Электронный ресурс]: технические и программные средства Учебное пособие / Древс Ю.Г. - М.НИЯУ "МИФИ", 2010. - 230 с. ISBN 978-5-7262-1310-1. - Режим доступа: http://znanium.com/bookread2.php?book=560589 (дата обращения: 11.08.2018).

8. Моделирование процессов управления в интеллектуальных измерительных системах / Капля Е.В., Кузеванов В.С., Шевчук В.П. - М. [Электронный ресурс]: Физматлит, 2009. - 512 с. ISBN 978-5-9221-1131-7. - Режим доступа: http://znanium.com/bookread2.php?book=544737 (дата обращения: 11.08.2018).

9. Цифровые устройства и микропроцессоры [Электронный ресурс]: учеб. пособие Учебное пособие / Микушин А.В., Сажнев А.М., Сединин В.И. - СПбБХВ-Петербург, 2010. - 832 с. ISBN 978-5-9775-0417-1. - Режим доступа: http://znanium.com/bookread2.php?book=350706 (дата обращения: 11.08.2018).

10. Кобелев, Н. Б. Качественная теория больших систем и их имитационное моделирование [Электронный ресурс] [Электронный ресурс]: пособие для разработчиков имитационных моделей и пользователей / Н. Б. Кобелев. - М. Принт Сервис, 2009. - 85 с. - Режим доступа: http://znanium.com/bookread2.php?book=414753 (дата обращения: 11.08.2018).

11. Электронная техника [Электронный ресурс]: Учебник / М.В. Гальперин. - 2-е изд., испр. и доп. - М. ИД ФОРУМ НИЦ Инфра-М, 2013. - 352 с. ил.; 60x90 1/16. ISBN 978-5-8199-0176-2. - Режим доступа: http://znanium.com/bookread2.php?book=375623 (дата обращения: 11.08.2018).

12. Силовая электроника [Электронный ресурс]: Силовые полупроводниковые преобразователи для электропривода и электроснабжения Уч.пос. / Онищенко Г.Б., Соснин О.М. - М. НИЦ ИНФРА-М, 2016. - 122 с. 60x90 1/16. - ISBN 978-5-16-011120-9 - Режим доступа: http://znanium.com/bookread2.php?book=513981 (дата обращения: 11.08.2018).

13. Комиссаров, Ю. А. Общая электротехника и электроника [Электронный ресурс] [Электронный ресурс]: Учебное пособие для вузов / Ю. А. Комиссаров, Г. И. Бабокин; под ред. П. Д. Саркисова. - М. Химия, 2010. - 604 с. - ISBN 978-5-98109-085-1. - Режим доступа: http://znanium.com/bookread2.php?book=488007 (дата обращения: 11.08.2018).

14. Анализ простых электронных цепей. От электротехники к электронике. Схемы с диодами и транзисторами/ЛаппиФ.Э. - Новосиб. [Электронный ресурс]: НГПУ, 2012. - 144 с. ISBN 978-5-7782-1917-5. - Режим доступа: http://znanium.com/bookread2.php?book=546031 (дата обращения: 11.08.2018).

15. Синтез фильтрокомпенсирующих устройств для систем электроснабжения / БоярскаяН.П., ДовгунВ.П., ЕгоровД.Э. и др. - Краснояр. [Электронный ресурс]: СФУ, 2014. - 192 с. ISBN 978-5-7638-3122-1. - Режим доступа: http://znanium.com/bookread2.php?book=550611 (дата обращения: 11.08.2018).

16. Повышение эффективности систем тягового электропривода автономных транспортных средств / Аносов В.Н., Кавешников В.М. - Новосиб. [Электронный ресурс]: НГТУ, 2014. - 220 с. ISBN 978-5-7782-2574-9 - Режим доступа: http://znanium.com/bookread2.php?book=556810 (дата обращения: 11.08.2018).

17. Гуревич, В.И. Устройства электропитания релейной защиты [Электронный ресурс]:

Согласована на портале № 42618

проблемы и решения [Электронный ресурс] / В.И. Гуревич. - М. Инфра-Инженерия, 2013. - 288 с. - ISBN 978-5-9729-0057-2 - Режим доступа: http://znanium.com/bookread2.php?book=521382 (дата обращения: 11.08.2018).

### 12.3. Учебно-методические пособия

#### 12.3.1. Обязательные учебно-методические пособия

1. Физические основы электроники. Сборник задач и примеры их решения [Электронный ресурс]: Учебно-методическое пособие / Аристов А.В., Петрович В.П. - Томск Изд-во Томского политех. университета, 2015. - 100 с. - Режим доступа: http://znanium.com/bookread2.php?book=672993 (дата обращения: 11.08.2018).
2. Муравьев, В. М. Электротехника и электроника [Электронный ресурс] [Электронный ресурс]: М/у и контр. задания на самостоят. работу / В. М. Муравьев, М. С. Сандлер. - М. МГАВТ, 2010. - 24 с. - Режим доступа: http://znanium.com/bookread2.php?book=404472 (дата обращения: 11.08.2018).
3. Электроника интегральных схем. Лабораторные работы и упражнения [Электронный ресурс]: Учебное пособие / Петросянц К.О., Козынко П.А., Рябов Н.И.; Под ред. Петросянц К.О. - М.СОЛОН-Пр., 2012 ISBN 978-5-91359-213-2. - Режим доступа: http://znanium.com/bookread2.php?book=892456 (дата обращения: 11.08.2018).

#### 12.3.2. Учебно-методические пособия для лиц с ограниченными возможностями здоровья и инвалидов

Учебно-методические материалы для самостоятельной и аудиторной работы обучающихся из числа лиц с ограниченными возможностями здоровья и инвалидов предоставляются в формах, адаптированных к ограничениям их здоровья и восприятия информации.

**Для лиц с нарушениями зрения:**

- в форме электронного документа;
- в печатной форме увеличенным шрифтом.

**Для лиц с нарушениями слуха:**

- в форме электронного документа;
- в печатной форме.

**Для лиц с нарушениями опорно-двигательного аппарата:**

- в форме электронного документа;
- в печатной форме.

### 12.4. Профессиональные базы данных и информационные справочные системы

1. Базы данных, информационно-справочные и поисковые системы ТУСУР: https://lib.tusur.ru/ru/resursy/bazy-dannyh
2. Научная электронная библиотека eLIBRARY.RU https://elibrary.ru
3. Портал Федеральных государственных образовательных стандартов высшего образования: http://fgosvo.ru
4. Институт инженеров электротехники и электроники (Institute of Electrical and Electronics Engineers), Xplore Digital Library: https://ieeexplore.ieee.org
5. Базы данных производителей современных электронных компонентов:
6. http://www.microchip.com/
7. https://www.nxp.com
8. https://www.freescale.com
9. https://www.silabs.com
10. https://www.st.com/
11. http://www.ti.com

### 12.5. Периодические издания

1. Доклады Томского государственного университета систем управления и радиоэлектроники. [Электронный ресурс]: - Режим доступа: https://journal.tusur.ru/ (дата обращения: 11.08.2018).
2. IEEE Transactions on Power Electronics / ISSN [Электронный ресурс]: 0885-8993 / Published by IEEE Power Electronics Society - Режим доступа: https://ieeexplore.ieee.org/servlet/opac?punumber=63 (дата обращения: 11.08.2018).

Согласована на портале № 42618

3. IEEE Transactions on Industrial Electronics / ISSN [Электронный ресурс]: 0278-0046 / Published by IEEE Industrial Electronics Society - Режим доступа: https://ieeexplore.ieee.org/servlet/opac?punumber=41 (дата обращения: 11.08.2018).

## 13. Материально-техническое обеспечение дисциплины и требуемое программное обеспечение

### 13.1. Общие требования к материально-техническому и программному обеспечению дисциплины

#### 13.1.1. Материально-техническое и программное обеспечение для лекционных занятий

Для проведения занятий лекционного типа, групповых и индивидуальных консультаций, текущего контроля и промежуточной аттестации используется учебная аудитория с количеством посадочных мест не менее 22-24, оборудованная доской и стандартной учебной мебелью. Имеются демонстрационное оборудование и учебно-наглядные пособия, обеспечивающие тематические иллюстрации по лекционным разделам дисциплины.

#### 13.1.2. Материально-техническое и программное обеспечение для практических занятий

Лаборатория робототехники и ЧПУ технологическим оборудованием

учебная аудитория для проведения занятий практического типа, учебная аудитория для проведения занятий лабораторного типа, учебная аудитория для проведения занятий семинарского типа

634034, Томская область, г. Томск, Вершинина улица, д. 74, 201а ауд.

Описание имеющегося оборудования:

- Персональные компьютеры (5 шт.);
- Робот учебный УР7/3;
- Цифровой осциллограф DSO 3062A (4 шт.);
- Учебный лабораторный комплекс «Силовые цепи энергетической электроники» включает лабораторные стенды: "Для исследования асинхронных электроприводов" (2шт.), "Для исследования вентильных электроприводов" (2шт.), "Для исследования электроприводов постоянного тока";
- Комплект специализированной учебной мебели;
- Рабочее место преподавателя.

Программное обеспечение:

- Adobe Acrobat Reader
- Far Manager
- Google Chrome
- LTspice 4
- LibreOffice
- Mathworks Matlab
- Mathworks Simulink 6.5
- Microsoft Visio 2013
- Microsoft Visual Studio
- Microsoft Windows XP
- PTC Mathcad13, 14
- STDU viewer 1.6.375
- WinDjView

#### 13.1.3. Материально-техническое и программное обеспечение для самостоятельной работы

Для самостоятельной работы используются учебные аудитории (компьютерные классы), расположенные по адресам:

- 634050, Томская область, г. Томск, Ленина проспект, д. 40, 233 ауд.;
- 634045, Томская область, г. Томск, ул. Красноармейская, д. 146, 201 ауд.;
- 634034, Томская область, г. Томск, Вершинина улица, д. 47, 126 ауд.;
- 634034, Томская область, г. Томск, Вершинина улица, д. 74, 207 ауд.

Согласована на портале № 42618

Состав оборудования:
- учебная мебель;
- компьютеры класса не ниже ПЭВМ INTEL Celeron D336 2.8ГГц. - 5 шт.;
- компьютеры подключены к сети «Интернет» и обеспечивают доступ в электронную информационно-образовательную среду университета.

Перечень программного обеспечения:
- Microsoft Windows;
- OpenOffice;
- Kaspersky Endpoint Security 10 для Windows;
- 7-Zip;
- Google Chrome.

### 13.2. Материально-техническое обеспечение дисциплины для лиц с ограниченными возможностями здоровья и инвалидов

Освоение дисциплины лицами с ограниченными возможностями здоровья и инвалидами осуществляется с использованием средств обучения общего и специального назначения.

При занятиях с обучающимися **с нарушениями слуха** предусмотрено использование звукоусиливающей аппаратуры, мультимедийных средств и других технических средств приема/передачи учебной информации в доступных формах, мобильной системы преподавания для обучающихся с инвалидностью, портативной индукционной системы. Учебная аудитория, в которой занимаются обучающиеся с нарушением слуха, оборудована компьютерной техникой, аудиотехникой, видеотехникой, электронной доской, мультимедийной системой.

При занятиях с обучающимися **с нарушениями зрениями** предусмотрено использование в лекционных и учебных аудиториях возможности просмотра удаленных объектов (например, текста на доске или слайда на экране) при помощи видеоувеличителей для комфортного просмотра.

При занятиях с обучающимися **с нарушениями опорно-двигательного аппарата** используются альтернативные устройства ввода информации и другие технические средства приема/передачи учебной информации в доступных формах, мобильной системы обучения для людей с инвалидностью.

## 14. Оценочные материалы и методические рекомендации по организации изучения дисциплины

### 14.1. Содержание оценочных материалов и методические рекомендации

Для оценки степени сформированности и уровня освоения закрепленных за дисциплиной компетенций используются оценочные материалы в составе:

#### 14.1.1. Тестовые задания

1. Широтно-импульсная модуляция, это…
1) изменение фазы сигнала с помощью модулируемого сигнала;
2) изменение амплитуды сигнала с помощью модулируемого сигнала;
3) изменение ширины импульса с помощью обратной связи;
4) изменение частоты с помощью амплитуды сигнала.
2. Что является структурным элементом формата любой команды МПС?
1) Регистр;
2) Адрес ячейки;
3) Операнд;
4) Код операции (КОП).
3. Возможна ли ситуация, когда на одном периоде ШИМ существует два изменяющихся фронта импульса?
1) Да
2) Нет
3) Только при изменении частоты
4) Только при изменении амплитуды

Согласована на портале № 42618

4. Англоязычная аббревиатура ZCS обозначает

1) Мягкая коммутация с переключением транзистора при нулевом токе

2) Мягкая коммутация с переключением транзистора при нулевом напряжении

3) Мягкая коммутация с переключением транзистора при нулевой мощности.

5. Среднеквадратическое значение выпрямленного напряжения двухполупириодным выпрямителем равно:

1) среднеквадратическому значению входного переменного напряжения;

2) половине среднеквадратического значения входного переменного напряжения;

3) удвоенному среднеквадратическому значению входного переменного напряжения;

4) половине среднеквадратического значения выходного напряжения.

6. Соотношение между коэффициентами передачи тока эмиттера «KIe» и коэффициент передачи тока базы «KIb» для схемы транзистора с «ОБ»

1) 1-KIe=KIb/(1+KIb)

2) KIb*KIe=KIb/(1+KIb)

3) KIb= KIe /(1- KIe)

4) KIb=KIe/(1+KIe)

5) KIe=KIb/(1+KIb)

7. Компаратор служит для определения

1) Моментов равенства двух напряжений

2) Степени запаздывания одного сигнала относительно другого

3) Разности двух напряжений

4) Суммирования двух сигналов

8. Крутизна вольт-амперной характеристики является основным параметром:

1) биполярного транзистора;

2) диода;

3) полевого транзистора;

4) катушки индуктивности.

9. Мостовой выпрямитель является:

1) двухполупериодным;

2) однополупериодным;

3) выпрямителем с удвоением напряжения;

4) цифровым устройством.

10. Цифровые и аналоговые инверторы это устройства изменяющие фазу напряжения на:

1) 90 градусов;

2) 180 градусов;

3) 270 градусов;

4) 45 градусов.

11. В какой из трех схем включения (ОБ, ОЭ, ОК) биполярный транзистор обладает наибольшим коэффициентом усиления по мощности?

1) ОК

2) ОБ

3) ОЭ

4) ОЭ и ОК одинаково

5) ОЭ и ОБ одинаково

12. Скважностью называют:

1) отношение периода импульса к длительности импульса;

2) отношение длительности импульса к периоду;

3) отношение периода импульса к длительности паузы;

4) отношение длительности импульса к длительности паузы.

13. Ослабление сигнала на не резонансных частотах резонансного усилителя зависит от:

1) коэффициента усиления;

2) добротности резонансного контура;

3) выходного сопротивления;

4) входного сопротивления.

Согласована на портале № 42618

14. Силовые преобразовательные инверторы это устройства:

1) преобразования переменного напряжения в постоянное;

2) преобразования импульсного напряжения в постоянное;

3) преобразования постоянного напряжения в переменное;

4) преобразования импульсного напряжения в переменное.

15. Коэффициент гармоник это:

1) отношение действующего значения высших гармоник к действующему значению основной гармоники;

2) отношение максимального к действующему значению;

3) отношение действующего значения основной гармоники к действующему значению всей кривой;

4) отношение действующего к среднему по модулю значению.

16. В зависимости от характера коммутируемого сигнала электронные ключи разделяют на

1) цифровые;

2) импульсные;

3) аналоговые;

4) усилительные.

17. Бифуркационным называется явление, при изменении параметров системы происходит

- количественное изменение выходных значений сигнала по амплитуде;
- количественное изменение выходных значений сигнала по фазе;
- качественное изменение выходного сигнала по форме (топологии);
- изменение будущего состояния сигнала в зависимости от изменения его в прошлом.

18. Отрицательная обратная связь в усилителях используется с целью…

1) повышения стабильности усилителя;

2) повышения коэффициента усилителя;

3) повышения размеров усилителя;

4) снижения напряжения питания.

19. Какую функцию выполняет диодный мост в источниках питания?

1) Сглаживание;

2) Стабилизация;

3) Выпрямление;

4) Понижение.

20. Амплитудная модуляция это ...

1) изменение фазы сигнала с помощью модулируемого сигнала;

2) изменение амплитуды сигнала с помощью модулируемого сигнала;

3) изменение амплитуды с помощью частоты сигнала;

4) изменение частоты с помощью амплитуды сигнала.

### 14.1.2. Экзаменационные вопросы

1. Линейные усилители. Однокаскадные усилители на биполярных и полевых транзисторах. Обратные связи в усилителях, их влияние на параметры и характеристики усилителей.

2. Устойчивость усилителя с обратной связью. Частотные и импульсные характеристики усилителей. Методы температурной стабилизации рабочего режима транзисторных усилителей.

3. Операционные усилители. Использование операционных усилителей в схемах масштабирования, суммирования, интегрирования и дифференцирования электрических сигналов.

4. Активные фильтры на основе операционных усилителей и RC-цепей. Генераторы гармонических колебаний с RC- и LC-цепями. Прецизионные выпрямители на операционных усилителях.

5. Диодные ключи, ограничители и фиксаторы уровня напряжения.

6. Транзисторные насыщенные ключи на биполярных транзисторах. Ненасыщенные ключи. Траектория рабочей точки при переключении транзистора. Влияние на траекторию рабочей точки характера нагрузки (R, RL, L, RC). Области безопасной работы.

7. Ключи на IGBT и полевых транзисторах. Схемотехника ключей на большие мощности. Энергия, рассеиваемая в транзисторах при переключении, основные приемы отвода тепла. Транзисторные ключи переменного тока схемотехника, области применения, особенности.

Согласована на портале № 42618

8. Импульсные схемы и стабилизаторы напряжения. Компараторы, одновибраторы, мультивибраторы и генераторы линейно изменяющегося напряжения на основе дискретных компонентов, операционных усилителей и логических интегральных схем.

9. Параметрические стабилизаторы напряжения. Линейные (в том числе интегральные) стабилизаторы. Регуляторы и стабилизаторы напряжения и тока на полупроводниковых элементах, работающих в ключевых режимах.

10. Микросхемы для импульсных преобразователей и источников питания. AC/DC преобразователи, DC/DC- преобразователи, однотактные и двухтактные ШИМ контроллеры, специализированные схемы управления источниками вторичного электропитания, корректоры коэффициента мощности

11. Основные схемы одно- и трехфазных выпрямителей. Работа однофазных выпрямителей на активно-индуктивную, активно-емкостную нагрузки, на нагрузку, содержащую противо-ЭДС и индуктивность. Режим прерывистого тока.

12. Трехфазный мостовой выпрямитель. Внешняя характеристика выпрямителя при различном числе одновременно работающих вентилей. Несимметричный (полууправляемый) выпрямитель, его регулировочная характеристика. Многофазные схемы выпрямления на основе последовательного или параллельного соединения выпрямителей.

13. Взаимодействие выпрямителя с источником переменного тока. Первичные токи многофазных выпрямителей. Коэффициент мощности источника переменного тока при управляемом и неуправляемом режимах работы выпрямителя. Способы повышения коэффициента мощности.

14. Явление вынужденного подмагничивания трансформатора в одно- и трехфазных трансформаторных выпрямителях, способы устранения эффекта подмагничивания. Влияние анодных индуктивностей на работу выпрямителей. Особенности работы высокочастотных и бестрансформаторных выпрямителей.

15. Инверторы, ведомые сетью, и преобразователи частоты. Переход от выпрямительного режима к инверторному. Электрические процессы в инверторе, ведомом сетью, его регулировочная характеристика. Влияние анодных индуктивностей на работу инвертора, коэффициент его мощности, приемы повышения коэффициента мощности инвертора.

16. Реверсивный преобразователь переменно-постоянного тока. Перекрестная и встречнопараллельная схемы преобразователя. Совместное и раздельное управление преобразователем. Особенности работы преобразователя на индуктивную нагрузку и индуктивную нагрузку с противо-ЭДС.

17. Непосредственный преобразователь частоты. Одно- и многофазная схемы непосредственного преобразователя частоты, особенности его работы на активно-индуктивную нагрузку.

18. Импульсные преобразователи и регуляторы постоянного напряжения. Импульсные методы регулирования напряжения (тока) – широтно- и частотно-импульсное регулирование, метод позиционного слежения. Импульсные регуляторы I, II и III родов, их регулировочные характеристики.

19. Транзисторные преобразователи напряжения с передачей энергии через трансформатор на интервале формирования импульса и во время паузы.

20. Импульсные преобразователи постоянного напряжения на тиристорах с параллельной и последовательной двухступенчатой коммутацией.

21. Высокочастотные транзисторные квазирезонансные преобразователи. Автономные инверторы и преобразователи на их основе.

22. Автономные инверторы тока и напряжения, их сравнительная оценка. Автономный параллельный инвертор как пример инвертора тока, его внешняя характеристика. Стабилизация и регулирование выходного напряжения инвертора тока с помощью индуктивно-тиристорного компенсирующего устройства.

23. Инвертор тока с отсекающими диодами. Одно- и трехфазные инверторы напряжения, особенности их работы на индуктивную нагрузку, роль отсекающих диодов.

24. Инвертор напряжения с одноступенчатой (прямой) коммутацией (схема МакМуррея–Бедфорда). Инвертор напряжения с двухступенчатой (непрямой) коммутацией. Электрические процессы в коммутационных узлах при последовательной и параллельной коммутации.

25. Преобразователи частоты на основе инверторов напряжения и инверторов тока для ча-

Согласована на портале № 42618

стотно-управляемого электропривода и их применение в энергосбережении.

26. Параллельный и последовательный резонансные инверторы, токи и напряжения в инверторах при граничном режиме работы и в режиме с паузой. Резонансные инверторы с обратными диодами.

27. Особенности работы тиристоров при принудительной коммутации – отпирание, запирание, коммутационные потери мощности, эффекты, связанные с изменением производных тока и напряжения в период коммутации.

28. Преобразователи напряжения с звеном повышенной частоты. Транзисторные инверторы на ключах переменного тока области применения, алгоритмы управления, характеристики, применение метода коммутационных разрывных функций к их анализу.

29. Методы снижения коммутационных потерь в инверторах повышенной частоты – демпфирующие цепи, резонансная и квазирезонансная коммутация.

30. Методы улучшения спектрального состава выходного напряжения инверторов. Многофазные преобразователи со ступенчатой формой напряжения. Преобразователи с многозонной импульсной модуляцией.

31. Обработка информации. Количественная оценка информации. Виды сигналов. Характеристика аналоговых сигналов – спектры и функции распределения. Передача информации модулированными сигналами с гармоническим и импульсным носителями.

32. Кодирование цифровых сигналов, виды цифровых кодов. Понятие о системах счисления, обратном и дополнительном кодах. Кодовые расстояния, избыточное кодирование, коды с обнаружением и исправлением ошибок.

33. Способы цифро-аналогового и аналогоцифрового преобразований. Преобразователи, основанные на последовательном счете, поразрядном уравновешивании и считывании. Преобразователи временных интервалов: аналоговый сигнал – интервал, аналоговый сигнал – частота, интервал–код, частота–код.

34. Основы проектирования цифровых узлов и устройств. Коммутационные логические устройства. Логические функции, способы их описания, их реализации с использованием типовых логических элементов И, ИЛИ, И–НЕ, ИЛИ–НЕ.

35. Дешифраторы, мультиплексоры, арифметические логические устройства – принцип их действия и особенности использования. Основные виды триггеров, построение счетчиков и регистров. Реверсивные счетчики. Емкость счетчика и управление ею.

36. Регистры с последовательным и параллельным вводом и выводом информации.

37. Автоматы на основе интегральных микросхем. Способы описания состояния автоматов, таблицы переходов и выходов. Кодирование входов, выходов и внутренних состояний автоматов. Противогоночное кодирование.

38. Синтез узлов на основе типовых логических элементов. Виды полупроводниковых запоминающих устройств. Способы расширения адресного пространства и разрядности данных запоминающего устройства.

39. Программирование ПЗУ, ОЗУ, РПЗУ. Полупроводниковое запоминающее устройство как многофункциональный логический элемент. Построение автоматов на основе программируемых ПЗУ с обратными связями.

40. Микропроцессорная техника систем управления. Программная реализация процедур сбора, вычислительных операций над информацией и управления.

41. Структура микропроцессорной системы, ее составные части. Магистральный способ связи узлов. Магистрали данных, адреса управления.

42. Функционирование микропроцессора при выполнении команд. Машинные циклы, слова состояния процессора. Виды команд. Переходы – выполнение подпрограмм, стек, прерывания и обработка прерываний, прямой доступ к памяти.

43. Однокристальные и разрядно-модульные микропроцессоры, однокристальные микроЭВМ, периферийные устройства микропроцессорных систем (интерфейсы).

### 14.1.3. Темы опросов на занятиях

• Разработать алгоритм цифрового ПИД-регулятора на базе заданного микроконтроллера.

• Провести исследование устойчивости цифровой системы управления с заданным контуром обратной связи.

Согласована на портале № 42618

• Выписать таблицу параметров, влияющих на построение систем цифрового управления преобразовательной техникой.

• Перечислить основные периферийные компоненты микропроцессоров, протоколы подключения, функции, особенности программной реализации.

• Составить таблицу технических требований к компонентам микропроцессоров с точки зрения прямого цифрового управления силовыми преобразователями.

• Перечислить методы повышения помехоустойчивости систем управления мощными силовыми преобразователями.

• Реализовать программную настройку ШИМ, входящего в состав микропроцессора с учетом особенностей применения в силовых цепях.

• Разработать схему силовой и управляющей цепей трехфазного электропривода.

• Спроектировать цифровой ШИМ на базе таймер-счетчика микропроцессора: структура, принцип действия, составные части.

• Разработать схему силовой и управляющей цепей двухфазного электропривода.

• Спроектировать многоканальный понижающий преобразователь напряжения.

• Составить структурную схему инвертора с мягкой коммутацией, описать принципы работы системы управления.

• Спроектировать систему аппаратной защиты по максимальному току заданной системы.

• Спроектировать многоканальный повышающий стабилизатор напряжения.

• Составить таблицу классификации АЦП.

• Произвести описание типичного модуля аналого-цифрового преобразователя, входящего в состав микропроцессора: структура, принцип действия, составные части.

• Перечислить особенности применения АЦП в устройствах силовой электроники.

• Составить таблицу параметров АЦП с точки зрения точности измерения, перечислить способы повышения точности.

• Выписать требования к скорости преобразования сигнала в АЦП, указать способы повышения скорости преобразования.

• Разработать схему подключения внешних АЦП, спроектировать программную часть МК.

• Составить таблицу источников электромагнитного излучения в силовой электронике, выписать рекомендации по уменьшению излучаемых помех при конструировании силовых преобразователей.

### 14.1.4. Темы индивидуальных заданий

• Исследование и разработка инверторов напряжения с ШИМ с пассивной фазой

• Исследование и разработка трёхфазных активных выпрямителей с пофазным управлением

• Разработка методики подбора силовых полупроводниковых приборов по комплексу параметров для формирования групповых последовательных цепей устройств силовой электроники

• Управление сильноточными тиристорными преобразователями систем самовозбуждения синхронных генераторов при коротких замыканиях в энергосистеме и отказах параллельных вентильных ветвей

• Бифуркационный анализ нелинейных динамических систем полупроводниковых преобразователей модульного типа

• Ключевой элемент квазирезонансного преобразователя напряжения на основе МДП-транзистора

• Многоуровневые полупроводниковые преобразователи частоты с емкостным делителем напряжения для автономных систем генерирования электрической энергии (Анализ и синтез)

• Моделирование статического компенсатора реактивной мощности и мощности искажений на базе каскадного многоуровневого инвертора

• Повышение эффективности преобразовательных комплексов модульной структуры в условиях нестабильности питающей сети и нагрузки

• Разработка и исследование преобразователей частоты для установок электрического нагрева нефтескважин

• Синтез схем автономных инверторов напряжения с улучшенным гармоническим составом выходного напряжения на основе эволюционного моделирования

• Топологические методы повышения эффективности работы беспроводных сетей в распре-

Согласована на портале № 42618

деленных системах управления объектами промышленной электроники

• Энергетически эффективные преобразователи частоты для двухчастотной индукционной тигельной плавки

• Адаптивная синхронизация систем управления силовыми вентильными преобразователями

• Имитатор батареи солнечной для наземной отработки и испытаний систем электропитания космических аппаратов на основе импульсных преобразователей

• Разработка и исследование алгоритмов управления мощными полупроводниковыми фазоповоротными устройствами для объектов единой национальной электрической сети России

• Разработка и исследование методов мягкой коммутации в трехфазных автономных инверторах напряжения

• Трансформаторно-тиристорный регулятор напряжения с ключами однонаправленного тока

• Анализ и расчет корректоров коэффициента мощности на базе современных микросхем управления

• Динамика инвертирующего полупроводникового преобразователя с коррекцией коэффициента мощности Динамические процессы в источнике питания для сварки на переменном токе высокой частоты

• Исследование и разработка вариантов широтно-импульсной модуляции в трехфазных автономных инверторах напряжения с двигательной нагрузкой.

### 14.1.5. Вопросы на самоподготовку

• Опишите варианты реализации транзисторного ключа двусторонней проводимости: свойства, схемы включения, методика расчета.

• Когда нужны в схеме инвертора обратные диоды. На какое напряжение и на какой средний ток они выбираются?

• Сравните использование источников постоянного тока и источников постоянного напряжения: свойства, применение, методика расчета.

• Почему параллельный инвертор тока нормально работает только в определенном диапазоне коэффициента нагрузки?

• Приведите пример транзисторного варианта инвертора тока.

• Ключи коммутаторы аналоговых сигналов – особенности применения в аналоговых схемах управления преобразователем.

• Как влияет на регулировочные характеристики сопротивление активных внутренних потерь?

• Покажите цепь протекания тока нагрузки в регуляторе переменного напряжения в режиме вольтодобавки (вольтоотбавки)?

• Опишите типовые схемы усилительных каскадов, их режимы работы.

• Какие схемы инверторов вы знаете?

• Чем определяется амплитуда и длительность сквозного тока в схеме инвертора с нагрузкой переменного тока и с выпрямительной нагрузкой?

• В каких случаях возникает процесс энергообмена нагрузки с питающей сетью, и при каких условиях он возможен?

• Драйверы для управления полевым транзистором – особенности применения, частотные и мощностные характеристики.

• Приведите пример реализации трехфазного тиристорного инвертора тока.

• В чем заключается особенность работы 3–фазного автономного инвертора, при работе его на активно-индуктивную нагрузку?

• Драйверы для управления биполярным транзистором – особенности применения, частотные и мощностные характеристики.

• У какого из 3–фазных автономных инверторов при отсутствии выходных фильтров наименьшие искажения выходного напряжения?

• Схемотехника компараторов, особенности применения в системах управления.

• Микроконтроллеры. Назначение, исходя из классификации по функциональному признаку.

• Какие особенности вносит в работу автономного инвертора тока обратный управляемый выпрямитель по сравнению с неуправляемы выпрямителем?

Согласована на портале № 42618

• В чем заключается особенность регулируемого однотактного инвертора, при работе на трансформаторную нагрузку?

• Драйверы для одноключевых и полумостовых преобразователей – какие функции выполняют, возможности схемной реализации.

• Как выглядит нагрузочная характеристика источника питания на базе регулируемого инвертора.

• Как можно изменить точность поддержания выходного напряжения при воздействии дестабилизирующих факторов.

### 14.1.6. Вопросы для подготовки к практическим занятиям, семинарам

Занятие 1.

1. Научный руководитель формулирует индивидуальное задание в соответствии с тематикой разрабатываемой научно-квалификационной работы. Составление ТЗ на проектирование силового преобразователя (СП) в соответствии с индивидуальным заданием.

2. Разработать структурную схему аппаратной части СП, включающей микропроцессорную систему управления (МПСУ) коммутационными устройствами СП.

3. Выбрать датчики и определиться с каналами передачи информации в МПСУ.

4. Предусмотреть приборы (адаптеры и драйвера) для согласование уровней и типов сигналов.

5. Разработать схему подключения первичных источников электроэнергии и нагрузки.

6. Спроектировать структуру программного обеспечения МПСУ преобразователя.

7. Разработать дерево вызова процедур ПО, включающее списки формальных параметров (аргументов) подпрограмм и выходных данных этих подпрограмм.

8. Произвести предварительную оценку показателей энергоэффективности и экономической целесообразности разработки.

Занятие 2.

1. В соответствии с индивидуальным заданием проработать технологические требования к техническим параметрам эксплуатации преобразователя, поведению и режимам нагрузки. Сформулировать целевые функции оптимизации параметров.

2. Провести работу по моделированию энергетического канала СП, рассмотреть все известные варианты структур и обосновать выбор структурной схемы.

3. С учетом заданных характеристик выходного сигнала и влияния на питающую сеть, разработать систему управления полупроводниковыми ключами СП. Выбрать силовые ключи и драйвера.

4. Определиться с видом коммутации и с её частотными характеристиками

5. Рассчитать статические и динамические характеристики СП.

6. Рассчитать передаточную функцию обратной связи (ОС) с точки зрения теории автоматического управления, выбрать корректирующие звенья, провести синтез регулятора.

7. Спроектировать регулятор, настроенный на тот или иной оптимум, в зависимости от требуемого характера выходного сигнала.

8. Выбрать датчики ОС и определиться с каналами передачи информации в МПСУ.

9. Предусмотреть приборы (адаптеры) для согласование уровней и типов сигналов.

10. Разработать схему подключения МПСУ к силовому каналу. Рассмотреть вопросы гальванической развязки.

Занятие 3.

1. В соответствии с индивидуальным заданием провести работу по проектированию структурной схемы каналов сбора, предварительной обработки и передачи данных МПСУ СП.

2. Разработать схему электрическую принципиальную силового преобразователя.

3. Разработать схему электрическую принципиальную МПСУ СП, создать перечень элементной базы и схемы моточных изделий.

4. Разработать печатную плату МПСУ, разработать схему электрического и планарного монтажа.

5. Проработать структуру программного обеспечения МПСУ комплекса.

6. Выбрать средства проектирования и методы автономной отладки программных средств аппаратных комплексов и систем.

Согласована на портале № 42618

7. Определиться с алгоритмами верхнего уровня управления СП. Заложить в структуру программного обеспечения (ПО) коммуникационные подпрограммы.

8. Разработать дерево вызова подпрограмм, включающее списки формальных параметров (аргументов) подпрограмм и выходных данных этих подпрограмм.

Занятие 4.

1. Разработать имитационную математическую модель СП. Построить spice-модели силовых элементов, моточных изделий (дросселей и трансформаторов).

2. Запрограммировать систему управления ключами в математической модели СП.

3. Разрешить вопросы мягкой коммутации, рассчитать требуемые постоянные времени резонансных контуров, сделать вывод о возможности реализации мягких режимов работы силовых ключей.

4. Произвести вычислительные эксперименты. Получить мгновенные значения выходных параметров СП. Построить основные характеристики: нагрузочную, регулировочную, спектр, рассчитать к.п.д.

5. Оценить динамические параметры работы преобразователя – величину перерегулирования, время установления, размах пульсаций и пр. Подтвердить (и при необходимости, скорректировать) расчеты регулятора в цепях ОС МПСУ.

6. Произвести вычислительные эксперименты при варьировании основных параметров модели, питающего напряжения и режимов работы нагрузки. Построить бифуркационные картины.

7. Провести анализ устойчивости режимов работы преобразователя, проанализировать выявленные аномальные режимы – насколько они критичны с т.з. энергетических показателей, средства их устранения.

8. Составить научно обоснованные рекомендации к параметрам выбираемой элементной базы.

9. Произвести выбор элементов. Обосновать корпуса и рассчитать систему отвода тепла.

10. Произвести тепловой расчет и уточнить к.п.д.

Занятие 5.

1. В соответствии с индивидуальным заданием провести работу по проектированию каналов сбора, предварительной обработки и передачи данных МПСУ – рассчитать и выбрать АЦП, ЦАП и ШИМ.

2. Рассчитать и выбрать аналого-цифровые преобразователи МПСУ, в зависимости от заданной точности измерения и представления сигнала в системе управления, рассчитать необходимую дискретность сигнала, а в зависимости от быстродействия системы - частоту дискретизации.

3. Выбрать из предлагаемого на рынке ряда типы и архитектуру АЦП, определиться с необходимостью реализации встроенных АЦП в МП или рассчитать периферийные модули АЦП.

4. Рассчитать необходимое время преобразования. Определиться с тактовой частотой МП и реализовать канал тактирования микросхем МПСУ.

5. Реализовать необходимые цифровые интерфейсы передачи данных в МПСУ, согласовать технологии и уровни сигналов. Разработать схему принципиальную МПСУ.

6. Рассмотреть вопросы защиты МПСУ от воздействия помех.

7. Проработать задачи электромагнитной совместимости МПСУ и силовой части СП, учесть расположение силовых цепей.

8. При необходимости разработать механизмы фильтрации в аналоговых и цифровых каналах передачи данных. Возможно, применить программные фильтры в ПО МПСУ СП.

9. Обосновать выбор датчиков и адаптеров.

Занятие 6.

1. Разработать эскизную конструкторскую документацию (ЭКД) на СП, в частности:

2. Спроектировать принципиальную схему силовой части и МПСУ с перечнем элементов;

3. Спроектировать печатную плату силовой части преобразователя и МПСУ, разработать схему электрического и планарного монтажа;

4. Рассчитать, спроектировать и разработать чертежи и схемы моточных изделий;

5. Составить программный код МПСУ, используя типовые конфигурации программной части систем управления.

6. Произвести испытания (или макетирование на эмуляторах) силовой части СП на холо-

Согласована на портале № 42618

стом ходу и под нагрузкой. Подготовить протокол испытаний.

7. Произвести оценку эффективности алгоритмов управления, скорректировать ЭКД СП.

8. Проверить устойчивость алгоритмов работы МПСУ СП.

9. Провести оценку устойчивости выходных сигналов СП на макете при вариации параметров.

10. Подготовить завершающий отчет по индивидуальному заданию, включающий расчеты, схемы, протоколы испытаний и анализ работы ЭтКиС.

### 14.1.7. Вопросы дифференцированного зачета

1. Основные свойства чистых и примесных полупроводников. Электропроводность чистых и примесных полупроводников. Токи в полупроводнике (дрейфовый и диффузионный). Подвижность носителей в полупроводнике, ее зависимость от температуры, концентрации примесей и напряженности электрического поля.

2. Зависимость удельного сопротивления примесного полупроводника от температуры. Механизм рекомбинации и время жизни носителей. Закон убывания концентрации носителей за счет рекомбинации. Уравнение непрерывности.

3. Электронно-дырочный переход, явления, возникающие при контакте металла с полупроводником. Полупроводники с различным типом проводимости. Зонная диаграмма p– n-перехода. Вольтамперная характеристика (ВАХ) p–n-перехода, виды его пробоя.

4. Полупроводниковый диод, особенности его ВАХ. Температурные свойства параметров и характеристик диода. Разновидности диодов (стабилитроны, диоды Шоттки, туннельные диоды). Основные приемы конструирования и технологии изготовления диодов. Силовые диоды, их классификация и особенности применения.

5. Биполярный транзистор. Устройство и принцип действия биполярного транзистора, анализ процессов в базе транзистора – характер движения носителей, влияние электрического поля, распределение концентрации неосновных носителей.

6. Соотношение между токами электродов транзистора. Характеристики транзистора при включении по схемам с общей базой и общим эмиттером. Уравнение Эберса–Молла для статических ВАХ идеализированного транзистора. Малосигнальная эквивалентная схема транзистора, влияние температуры, частоты и нагрузки на параметры эквивалентной схемы.

7. Ключевой режим биполярного транзистора. Режим отсечки и насыщения. Анализ переходных процессов в транзисторе методом заряда. Конструирование биполярных транзисторов и элементы технологии их производства. Параметрические особенности биполярных транзисторов на большие мощности.

8. Полевые транзисторы с управляющим p–n-переходом. Устройство, принцип действия и ВАХ Транзисторы МДП-типа с встроенным и индуцированным каналом. Схемы замещения, параметры и характеристики полевых транзисторов. Мощные МДПтранзисторы, их характеристики и особенности применения в ключевых режимах технических устройств.

9. Биполярные транзисторы с изолированным затвором (БТИЗ). Устройство и принцип действия. Схема замещения и ВАХ БТИЗ, электрические и температурные параметры схемы замещения, требования к управляющим сигналам. Особенности использования БТИЗ в технических устройствах и области их безопасной работы. Особенности IGBT и сравнение их с IGCT.

10. Оптоэлектронные пары диод – диод, диод – транзистор. Оптоэлектронные приборы повышенной яркости – светодиды. Схемы включения оптоэлектронных приборов.

11. Тиристоры. Структура и физические процессы в тиристорах. ВАХ тиристора. Переходные процессы включения и выключения в незапираемых (однооперационных) тиристорах. Предельные и классификационные параметры тиристоров. Асимметрично запирающие и обратнопроводящие тиристоры. Симисторы, фото- и оптронные тиристоры. Запираемые (двухоперационные) тиристоры. Особенности IGCT и сравнение их с IGBT.

12. Интегральные и гибридные микросхемы. Схемотехника и конструкция, типовые логические микросхемы. Серии микросхем на биполярных и полевых транзисторах.

13. Магнитные материалы и сердечники. Общие свойства магнитных материалов. Гистерезис. Магнитная проницаемость. Сопротивление магнитному потоку. Магнитодвижущая сила и напряженность магнитного поля. Выбор магнитных материалов. Влияние воздушного зазора в сердечнике магнитопровода. Аморфное железо и сплавы на основе кобальта. Ленточные разрезные

Согласована на портале № 42618

сердечники из электротехнической стали и никелевых сплавов. Ферриты. Порошковые материалы (порошковое распыленное железо (ПРЖ), мопермаллой, порошковые материалы на основе сплава железа и никеля, железоалюминиевый порошковый материал (Kool M μ ).

14. Дроссели. Сглаживающие дроссели и дроссели переменного тока. Основы расчета и проектирования дросселей.

15. Трансформаторы. Идеальный трансформатор. Индуктивность контура намагничивания трансформатора. Индуктивность рассеяния обмоток трансформатора. Основные соотношения для двухобмоточного трансформатора в общем случае. Многообмоточные трансформаторы.

16. Основные расчетные соотношения и методика расчета и проектирования силовых трансформаторов в преобразователях. Высокочастотные эффекты в обмотках дросселей и трансформаторов. Скин-эффект в проводнике, эффект близости. Трансформаторы и дроссели с плоскими обмотками (низкопрофильные трансформаторы и дроссели).

17. Конденсаторы. Конденсаторы с большим зарядом и энергией. Алюминиевые электролитические конденсаторы. Танталовые конденсаторы. Пленочные конденсаторы и их классификация. Керамические конденсаторы. Выбор конденсаторов для работы в силовых преобразователях.

18. Электро- и радио изделия силовой электроники. Резисторы, провода, разъемы, светодиодные индикаторы.

19. Коммутационно-защитная аппаратура силовой электроники. Автоматические выключатели. Предохранители. Выключатели. Нелинейные резисторы (варисторы) и газовые разрядники.

20. Электрические цепи и сигналы. Элементы электрических цепей (источники, потребители и накопители энергии), их параметры и характеристики. Электрическая схема и структурный граф цепи. Матрицы сечений и контуров, связь между ними.

21. Коммутационные процессы в электрических цепях. Постоянные и гармонические токи и напряжения. Комплексная форма представления гармонического процесса в электрической цепи. Периодически изменяющиеся токи и напряжения, разложение сигнала на гармонические составляющие. Параметры и характеристики периодического тока.

22. Модулированные сигналы и их дискретные частотные спектры. Непериодические токи и напряжения. Интеграл Фурье и непрерывные спектры электрических сигналов. Преобразование Лапласа и операторные изображения сигналов. Применение программного пакета MathCAD для анализа электрических цепей и сигналов.

23. Установившиеся и переходные процессы в линейных цепях. Анализ установившихся режимов в резистивных цепях, исходные уравнения, способы их решения и проверки. Законы Кирхгофа, баланс мощностей. Гармонические и периодические режимы в линейных цепях с источниками, потребителями и накопителями энергии.

24. Расчетные схемы с комплексными параметрами элементов. Активная, реактивная и полная мощность электрической цепи, мощность искажения. Законы коммутации и начальные условия, исходные алгебраические и дифференциальные уравнения состояния цепи. Классические методы решения дифференциальных уравнений (принужденный и свободный процессы в электрической цепи). Операторный метод анализа процессов в электрической цепи.

25. Интегродифференциальные уравнения состояния цепи и ее эквивалентная операторная схема. Реакция электрической цепи на возмущение в виде ступенчатой, импульсной и произвольной функции времени. Пространство состояний электрической цепи, формирование систем алгебраических и дифференциальных уравнений состояний, методы аналитических и численных решений уравнений.

26. Математическое моделирование электрических цепей. Моделирование электрических цепей в программных пакетах Or Cad, Mat Lab, Workbench, Asimec.

27. Фильтрующие устройства в электрических цепях. Четырехполюсники, их схемы, уравнения преобразования энергии. Эквивалентная схема активного четырехполюсника. Характеристические параметры и условия согласования пассивного четырехполюсника с источником энергии и нагрузкой.

28. Последовательный и параллельный LC-контуры, их резонансные и частотные характеристики. LC-фильтры, их характеристические параметры в полосах пропускания и демпфирования сигналов. Пассивные и активные RC-фильтры, их передаточные функции и частотные характеристики.

Согласована на портале № 42618

29. Установившиеся и переходные процессы в нелинейных цепях. Нелинейные цепи – ограничение и стабилизация тока и напряжения, выпрямление переменного тока, амплитудная модуляция гармонического сигнала. Цепи с управляемыми элементами – электронный усилитель, управляемый выпрямитель.

30. Аналитические, графические и численные методы анализа переходных процессов в цепях с нелинейными элементами. Устойчивость режима постоянного тока в нелинейной цепи. Релаксационный генератор – электрическая схема генератора, условия существования устойчивого режима его работы.

31. Условия возникновения гармонических колебаний в нелинейной цепи. Гармонический генератор – электрическая схема генератора, уравнения состояния и фазовый портрет.

### 14.1.8. Методические рекомендации

Дисциплина "Силовая электроника" является основой по подготовке аспиранта по направлению 13.06.01 Электро- и теплотехника, профиль (научная специальность) Силовая электроника. Она обеспечивает компетенции, необходимые для успешной сдачи кандидатского минимума по научной специальности 05.09.12 - силовая электроника, в соответствии с номенклатурой специальностей научных работников, утвержденной приказом Минобрнауки России №59 от 25.02.2009 г.

Дисциплина состоит в выполнении одного индивидуального задания, построенного в соответствии с тематикой разрабатываемой научно-квалификационной работой (диссертацией). Если тема диссертационной работы не может быть по какой-то причине использована в качестве индивидуального задания, то тема выбирается из списка вариантов, приведенных в ФОС рабочей программы или формулируется руководителем.

Выполняемые практические работы служат этапами выполнения индивидуального задания, они вместе с лекционным материалом и самоподготовкой служат целью помочь аспиранту подготовиться к ответам на вопросы Программы кандидатского минимума по научной специальности 05.09.12 - силовая электроника.

## 14.2. Требования к оценочным материалам для лиц с ограниченными возможностями здоровья и инвалидов

Для лиц с ограниченными возможностями здоровья и инвалидов предусмотрены дополнительные оценочные материалы, перечень которых указан в таблице 14.

Таблица 14 – Дополнительные материалы оценивания для лиц с ограниченными возможностями здоровья и инвалидов

| Категории обучающихся | Виды дополнительных оценочных материалов | Формы контроля и оценки результатов обучения |
|---|---|---|
| С нарушениями слуха | Тесты, письменные самостоятельные работы, вопросы к зачету, контрольные работы | Преимущественно письменная проверка |
| С нарушениями зрения | Собеседование по вопросам к зачету, опрос по терминам | Преимущественно устная проверка (индивидуально) |
| С нарушениями опорно-двигательного аппарата | Решение дистанционных тестов, контрольные работы, письменные самостоятельные работы, вопросы к зачету | Преимущественно дистанционными методами |
| С ограничениями по общемедицинским показаниям | Тесты, письменные самостоятельные работы, вопросы к зачету, контрольные работы, устные ответы | Преимущественно проверка методами исходя из состояния обучающегося на момент проверки |

## 14.3. Методические рекомендации по оценочным материалам для лиц с ограниченными возможностями здоровья и инвалидов

Для лиц с ограниченными возможностями здоровья и инвалидов предусматривается доступная форма предоставления заданий оценочных средств, а именно:

– в печатной форме;

Согласована на портале № 42618

– в печатной форме с увеличенным шрифтом;
– в форме электронного документа;
– методом чтения ассистентом задания вслух;
– предоставление задания с использованием сурдоперевода.

Лицам с ограниченными возможностями здоровья и инвалидам увеличивается время на подготовку ответов на контрольные вопросы. Для таких обучающихся предусматривается доступная форма предоставления ответов на задания, а именно:

– письменно на бумаге;
– набор ответов на компьютере;
– набор ответов с использованием услуг ассистента;
– представление ответов устно.

Процедура оценивания результатов обучения лиц с ограниченными возможностями здоровья и инвалидов по дисциплине предусматривает предоставление информации в формах, адаптированных к ограничениям их здоровья и восприятия информации:

**Для лиц с нарушениями зрения:**

– в форме электронного документа;
– в печатной форме увеличенным шрифтом.

**Для лиц с нарушениями слуха:**

– в форме электронного документа;
– в печатной форме.

**Для лиц с нарушениями опорно-двигательного аппарата:**

– в форме электронного документа;
– в печатной форме.

При необходимости для лиц с ограниченными возможностями здоровья и инвалидов процедура оценивания результатов обучения может проводиться в несколько этапов.

Согласована на портале № 42618