

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего
образования
«САНКТ-ПЕТЕРБУРГСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ
АЭРОКОСМИЧЕСКОГО ПРИБОРОСТРОЕНИЯ»

Кафедра №32

«УТВЕРЖДАЮ»
Руководитель направления

д.т.н., проф.

(должность, уч. степень, звание)

В.Ф. Шишляков

(подпись)

«28» мая 2019 г.



РАБОЧАЯ ПРОГРАММА ДИСЦИПЛИНЫ

«Силовая электроника»
(Название дисциплины)

Код направления	16.03.01
Наименование направления/ специальности	Техническая физика
Наименование направленности	Физические методы контроля качества и диагностики
Форма обучения	очная

Санкт-Петербург 2019 г.

Лист согласования рабочей программы дисциплины

Программу составил(а)

Доцент каф. №32, к.т.н., доцент
должность, уч. степень, звание


22.05.2019

А.А. Мартынов
инициалы, фамилия

Программа одобрена на заседании кафедры № 32

« 22 » мая 2019 г, протокол № 8

Заведующий кафедрой № 32

проф., д.т.н., проф.
должность, уч. степень, звание


22.05.2019

А.Л. Ронжин
инициалы, фамилия

Ответственный за ОП 16.03.01(01)

доц., к.т.н., доц.
должность, уч. степень, звание


28.05.2019

М.В. Бураков
инициалы, фамилия

Заместитель директора института (декана факультета) № 3 по методической работе

доц., к.т.н., доц.
должность, уч. степень, звание


28.05.2019

М.В. Бураков
инициалы, фамилия

Аннотация

Дисциплина «Силовая электроника» входит в вариативную часть образовательной программы подготовки обучающихся по направлению 16.03.01 «Техническая физика» направленность «Физические методы контроля качества и диагностики». Дисциплина реализуется кафедрой №32.

Дисциплина нацелена на формирование у выпускника

общефессиональных компетенций:

ОПК-8 «способность самостоятельно осваивать современную физическую, аналитическую и технологическую аппаратуру различного назначения и работать на ней»;

профессиональных компетенций:

ПК-5 «готовность изучать научно-техническую информацию, отечественный и зарубежный опыт по тематике профессиональной деятельности»;

ПК-14 «способность разрабатывать функциональные и структурные схемы элементов и узлов экспериментальных и промышленных установок, проекты изделий с учетом технологических, экономических и эстетических параметров».

Содержание дисциплины охватывает круг вопросов, связанных с изучением:

- устройства, принципа работы и характеристик полупроводниковых приборов силовой электроники;
- устройства, принципа работы и характеристик полупроводниковых преобразователей электрической энергии;
- методик расчета и проектирования полупроводниковых устройств и систем силовой электроники;
- устройств защиты устройств силовой электроники от сверхтоков и перенапряжений;
- проблемы электромагнитной совместимости устройств силовой электроники.

В области воспитания личности целью подготовки по данной дисциплине является формирование основ общекультурных и профессиональных компетенций для приобретения качеств, необходимых специалисту по силовой электронике, таких как целеустремленность, организованность, трудолюбие, ответственность, гражданственность, коммуникативность и способность к саморазвитию и самообразованию и др.

Преподавание дисциплины предусматривает следующие формы организации учебного процесса: *лекции, лабораторные работы, практические занятия, самостоятельная работа студента, консультации, курсовое проектирование*

Программой дисциплины предусмотрены следующие виды контроля: текущий контроль успеваемости, промежуточная аттестация в форме экзамена.

Общая трудоемкость освоения дисциплины составляет 6 зачетных единиц, 216 часов.

Язык обучения по дисциплине «русский».

1. Перечень планируемых результатов обучения по дисциплине

1.1. Цели преподавания дисциплины

Целью дисциплины является формирование у студентов необходимых знаний и умений по современным устройствам и системам силовой электроники, что позволит им успешно решать теоретические и практические задачи в их профессиональной деятельности. Обучающиеся должны освоить дисциплину на уровне, позволяющем им ориентироваться в схемных решениях, математических моделях, свойствах и характеристиках устройств и систем силовой электроники. Уровень освоения дисциплины должен позволять студентам проводить типовые расчеты основных параметров и характеристик устройств и систем силовой электроники, проводить элементарные лабораторные испытания устройств и систем силовой электроники.

1.2. Перечень планируемых результатов обучения по дисциплине, соотнесенных с планируемыми результатами освоения образовательной программы

В результате освоения дисциплины студент должен обладать следующими компетенциями:

ОПК-8 «способность самостоятельно осваивать современную физическую, аналитическую и технологическую аппаратуру различного назначения и работать на ней»:

знать - физических процессов, лежащие в основе работы физической, аналитической и технологической аппаратуры

уметь - _обращаться с аппаратурой различного назначения;

владеть навыками – настройки аппаратуры;

иметь опыт деятельности – в освоении аппаратуры различного назначения.

ПК-5 «готовность изучать научно-техническую информацию, отечественный и зарубежный опыт по тематике профессиональной деятельности»:

знать – предметную область профессиональной деятельности;

уметь – производить подборку технической информации по тематике профессиональной деятельности;

владеть навыками – работы с технической информации;

иметь опыт деятельности – в изучении и анализе технической информации.

ПК-14 «способность разрабатывать функциональные и структурные схемы элементов и узлов экспериментальных и промышленных установок, проекты изделий с учетом технологических, экономических и эстетических параметров»:

знать - методики разработки функциональных и структурных схем элементов и узлов экспериментальных и промышленных установок, проектов изделий с учетом технологических, экономических и эстетических параметров»;

уметь - _выполнять функциональные и структурные схемы узлов и элементов установок;

владеть навыками – разработки функциональных и структурных схемы

иметь опыт деятельности – в проектировании элементов и узлов установок .

2. Место дисциплины в структуре ОП

Дисциплина базируется на знаниях, ранее приобретенных студентами при изучении следующих дисциплин:

– Электротехника;

– Электроника.

Знания, полученные при изучении материала данной дисциплины, имеют как самостоятельное значение, так и используются при изучении других дисциплин:

– Системы управления приводом;

– Электрические аппараты.

3. Объем дисциплины в ЗЕ/академ. час

Данные об общем объеме дисциплины, трудоемкости отдельных видов учебной работы по дисциплине (и распределение этой трудоемкости по семестрам) представлены в таблице 1

Таблица 1 – Объем и трудоемкость дисциплины

Вид учебной работы	Всего	Трудоемкость по семестрам	
		№6	№7
1	2	3	4
Общая трудоемкость дисциплины, ЗЕ/(час)	6/ 216	5/ 180	1/ 36
<i>Аудиторные занятия</i> , всего час., <i>В том числе</i>	102	85	17
лекции (Л), (час)	34	34	
Практические/семинарские занятия (ПЗ), (час)	17	17	
лабораторные работы (ЛР), (час)	34	34	
курсовой проект (работа) (КП, КР), (час)	17		17
Экзамен, (час)	36	36	
<i>Самостоятельная работа</i> , всего	78	59	19
Вид промежуточного контроля: зачет, дифф. зачет, экзамен (Зачет, Дифф. зач, Экз.)	Экз.,	Экз.	

4. Содержание дисциплины

4.1. Распределение трудоемкости дисциплины по разделам и видам занятий

Разделы и темы дисциплины и их трудоемкость приведены в таблице 2.

Таблица 2. – Разделы, темы дисциплины и их трудоемкость

Разделы, темы дисциплины	Лекции (час)	ПЗ (СЗ) (час)	ЛР (час)	КП (час)	СРС (час)
Семестр 6					
Раздел 1. Преобразователи частоты	8	4	4		6
Тема 1.1. Преобразователи частоты со звеном постоянного тока					
Тема 1.2. Преобразователи частоты без звена постоянного тока					
Раздел 2. Преобразователи	14		26		20

постоянного тока в постоянный ток (ППТ)					
Тема 2.1. ППТ с последовательным ключевым элементом					
Тема 2.2. ППТ с параллельным ключевым элементом					
Тема 2.3. Однотактный прямоходовой конвертор					
Тема 2.4. Однотактный обратногоходовой конвертор					
Тема 2.5. Двухтактный конвертор с трансформаторной связью цепи нагрузки и источника питания					
Тема 2.6. Корректор коэффициента мощности					
Тема 2.7. Системы управления однотактных конверторов					
Раздел 3. Методики проектирования ВИП	12	11			24
Тема 3.1. Методика проектирования ППТ с последовательным ключевым элементом					
Тема 3.2. Методика проектирования ППТ с параллельным ключевым элементом					
Тема 3.3. Методика проектирования однотактного прямоходового конвертора					
Тема 3.4. Методика проектирования однотактного обратногоходового конвертора					
Тема 3.5. Методика проектирования двухтактного конвертора					
Тема 3.6. Статический расчет стабилизатора напряжения					
Раздел 4. Защита силовых схем полупроводниковых преобразователей		2	4		9
Тема 4.1. Схемы, сравнительные характеристики устройств защиты					

устройств силовой электроники от сверхтоков.					
Тема 4.2. Схемы, сравнительные характеристики устройств защиты устройств силовой электроники от перенапряжений.				17	19
Семестр 7					
Выполнение курсовой работы				17	19

4.2. Содержание разделов и тем лекционных занятий

Содержание разделов и тем лекционных занятий приведено в таблице 3.

Таблица 3 - Содержание разделов и тем лекционных занятий

Номер раздела	Название и содержание разделов и тем лекционных занятий
Раздел 1	Преобразователи частоты
Тема 1.1	Устройство, принцип работы, характеристики преобразователя частоты со звеном постоянного тока
Тема 1.2	Устройство, принцип работы, характеристики преобразователя частоты без звена постоянного тока
Раздел 2	Преобразователи постоянного тока в постоянный ток (ППТ)
Тема 2.1	Устройство, принцип работы, характеристики ППТ с последовательным ключевым элементом
Тема 2.2	Устройство, принцип работы, характеристики ППТ с параллельным ключевым элементом
Тема 2.3	Устройство, принцип работы, характеристики однотактного прямоходового конвертора
Тема 2.4	Устройство, принцип работы, характеристики однотактного обратногоходового конвертора
Тема 2.5	Устройство, принцип работы, характеристики двухтактного конвертора с трансформаторной связью цепи нагрузки и источником питания
Тема 2.6	Устройство, принцип работы корректора коэффициента мощности
Тема 2.7	Устройство, принцип работы систем управления однотактных конверторов
Раздел 3.	Методики проектирования ВИП
Тема 3.1.	Методика проектирования ППТ с последовательным ключевым элементом
Тема 3.2.	Методика проектирования ППТ с параллельным ключевым элементом

Тема 3.3.	Методика проектирования однотактного прямоходового конвертора
Тема 3.4.	Методика проектирования однотактного обратногоходового конвертора
Тема 3.5.	Методика проектирования двухтактного конвертора
Тема 3.6.	Статический расчет стабилизатора напряжения
Раздел 4	Защита силовых схем полупроводниковых преобразователей
Тема 4.1	Схемы, сравнительные характеристики устройств защиты устройств силовой электроники от сверхтоков.
Тема 4.2.	Схемы, сравнительные характеристики устройств защиты устройств силовой электроники от перенапряжений.

4.3. Практические (семинарские) занятия

Темы практических занятий и их трудоемкость приведены в таблице 4.

Таблица 4 – Практические занятия и их трудоемкость

№ п/п	Темы практических занятий	Формы практических занятий	Трудоемкость, (час)	№ раздела дисциплины
Семестр 6				
1	Методика расчета преобразователей частоты	Решение задач по теме	4	1.1
2	Методика расчета ППТ с последовательным ключевым элементом	Решение задач по теме	2	3.1
3	Методика расчета ППТ с параллельным ключевым элементом	Решение задач по теме	2	3.2
4	Методика проектирования однотактного прямоходового конвертора	Решение задач по теме	2	3.3
5	Методика проектирования однотактного обратногоходового конвертора	Решение задач по теме	2	3.4
6	Методика проектирования двухтактного конвертора	Решение задач по теме	2	3.5
7	Статический расчет стабилизатора напряжения	Решение задач по теме	1	3.6
8	Расчет схемы защиты от сверхтоков	Решение задач по теме	1	4.1
9	Расчет схемы защиты от перенапряжений	Решение задач	1	4.2

		по теме		
		Всего:	17	
Семестр 7				
	Выполнение курсовой работы		17	3
		Всего:	17	

4.4. Лабораторные занятия

Темы лабораторных занятий и их трудоемкость приведены в таблице 5.

Таблица 5 – Лабораторные занятия и их трудоемкость

№ п/п	Наименование лабораторных работ	Трудоемкость, (час)	№ раздела дисциплины
Семестр 6			
1	Преобразователь частоты	4	
2	ППТ с последовательным ключевым элементом (ППТ-1)	4	2.1
3	ППТ с параллельным ключевым элементом (ППТ-2)	4	2.2
4	Двухкаскадный ППТ: (ППТ-1) +(ППТ-2)	4	2.2
5	Двухкаскадный ППТ: (ППТ-2) +(ППТ-1)	4	2.2
6	Двухтактный ППТ с несимметричным способом управления	3	2.5
7	Двухтактный ППТ с симметричным способом управления	3	2.5
6	Корректор коэффициента мощности	4	2.6
7	Стабилизатор напряжения	4	3.6
	Всего:	34	

4.5. Курсовое проектирование (работа)

Цель курсового проекта: Цель курсовой работы: Развитие и укрепление навыков к саморазвитию и самообразованию. Развитие умения принятия обоснованных решений при решении инженерных задач. Развитие умения самостоятельно решать практические инженерные задачи, используя знания, освоенные при изучении теоретической части курса.

Примерные темы заданий на курсовой проект приведены в разделе 10 РПД.

4.6. Самостоятельная работа студентов

Виды самостоятельной работы и ее трудоемкость приведены в таблице 6.

Таблица 6 Виды самостоятельной работы и ее трудоемкость

Вид самостоятельной работы	Всего, час	Семестр 6, час	Семестр 7, час
1	2	3	4
Самостоятельная работа, всего	78		
изучение теоретического материала дисциплины (ТО)		59	
курсовое проектирование (КП, КР)			19
расчетно-графические задания (РГЗ)			
выполнение реферата (Р)			
Подготовка к текущему контролю (ТК)			
домашнее задание (ДЗ)			
контрольные работы заочников (КРЗ)			

5. Перечень учебно-методического обеспечения для самостоятельной работы обучающихся по дисциплине (модулю);

Учебно-методические материалы для самостоятельной работы студентов указаны в п.п. 8-10.

6. Перечень основной и дополнительной литературы

6.1. Основная литература

Перечень основной литературы приведен в таблице 7.

Таблица 7 – Перечень основной литературы

Шифр	Библиографическая ссылка / URL адрес	Количество экземпляров в библиотеке (кроме электронных экземпляров)
621.311 М29	1.Мартынов А.А. Силовая электроника. Часть I. Учебное пособие. Выпрямители и регуляторы переменного напряжения. ГУАП. СПб. 2011. 186с.	70
621.31 М29	2.Мартынов А.А. Силовая электроника. Часть II. Учебное пособие. Инверторы напряжения и преобразователи частоты. ГУАП. СПб.2012. 146с.	70
621.311 М29	3. Мартынов А.А.. Проектирование импульсных полупроводниковых преобразователей постоянного напряжения в постоянное напряжение: учеб. пособие/А.А. Мартынов. СПб.: СПбГУАП, 2011. 216 с.:	70

6.2. Дополнительная литература

Перечень дополнительной литературы приведен в таблице 8.

Таблица 8 – Перечень дополнительной литературы

Шифр	Библиографическая ссылка/ URL адрес	Количество экземпляров в библиотеке (кроме электронных экземпляров)
621.382 M29	4.Мартынов А.А. Силовая электроника: учеб. –метод. Пособие/А.А. Мартынов.-СПб.: ГУАП, 2015.-214с.	70
621.314 M29	5.Мартынов А.А. Основы преобразовательной техники.: Учебно-методическое пособие. Часть I / А.А. Мартынов. СПб.: ГУАП, 2016. 187 с.:	35
621.314 M29	6.Мартынов А.А. Основы преобразовательной техники.: Учебно-методическое пособие. Часть II / А.А. Мартынов. СПб.: ГУАП, 2015. 157 с	35

7. Перечень ресурсов информационно-телекоммуникационной сети ИНТЕРНЕТ, необходимых для освоения дисциплины

Перечень ресурсов информационно-телекоммуникационной сети ИНТЕРНЕТ, необходимых для освоения дисциплины приведен в таблице 9.

Таблица 9 – Перечень ресурсов информационно-телекоммуникационной сети ИНТЕРНЕТ, необходимых для освоения дисциплины

URL адрес	Наименование
URL:http://194.226.30/32/book.htm	Библиотека Администрации Президента РФ [Электронный ресурс]
URL:http://imin.urc.ac.ru	Виртуальные библиотеки [Электронный ресурс].
URL:http://www.rsl.ru	Российская национальная библиотека [Электронный ресурс].
URL:http://web.ido.ru	Электронная библиотека [Электронный ресурс].
URL:http://gpntb.ru	Государственная публичная научно-техническая библиотека России [Электронный ресурс].
http://window.edu.ru/	Информационный портал «Единое окно доступа к образовательным ресурсам» [Электронный ресурс]

8. Перечень информационных технологий, используемых при осуществлении образовательного процесса по дисциплине

8.1. Перечень программного обеспечения

Перечень используемого программного обеспечения представлен в таблице 10.

Таблица 10 – Перечень программного обеспечения

№ п/п	Наименование
	Не предусмотрено

8.2. Перечень информационно-справочных систем

Перечень используемых информационно-справочных систем представлен в таблице 11.

Таблица 11 – Перечень информационно-справочных систем

№ п/п	Наименование
	Не предусмотрено

9. Материально-техническая база, необходимая для осуществления образовательного процесса по дисциплине

Состав материально-технической базы представлен в таблице 12.

Таблица 12 – Состав материально-технической базы

№ п/п	Наименование составной части материально-технической базы	Номер аудитории (при необходимости)
1	Лекционная аудитория	21-28
2	Специализированная лаборатория	51-06-01

10. Фонд оценочных средств для проведения промежуточной аттестации обучающихся по дисциплине

10.1. Состав фонда оценочных средств приведен в таблице 13

Таблица 13 - Состав фонда оценочных средств для промежуточной аттестации

Вид промежуточной аттестации	Примерный перечень оценочных средств
Экзамен	Список вопросов к экзамену; Задачи; Тесты.
Выполнение курсового проекта	Экспертная оценка на основе требований к содержанию курсового проекта.

10.2. Перечень компетенций, относящихся к дисциплине, и этапы их формирования в процессе освоения образовательной программы приведены в таблице 14.

Таблица 14 – Перечень компетенций с указанием этапов их формирования в процессе освоения образовательной программы

Номер семестра	Этапы формирования компетенций по дисциплинам/практикам в процессе освоения ОП
ОПК-8 «способность самостоятельно осваивать современную физическую, аналитическую и технологическую аппаратуру различного назначения и работать на ней»	
3	Электротехника
3	Материаловедение
4	Электротехника

6	Силовая электроника
6	Схемотехника средств контроля
6	Системы управления приводом
6	Физические методы получения информации
7	Диагностика электромеханических устройств
7	Системы управления приводом
7	Микропроцессорные средства контроля и диагностики
7	Физические принципы конструирования приборов контроля и диагностики
7	Силовая электроника
7	Микропроцессорные устройства систем управления
8	Накопители электромагнитной энергии
8	Электромехатронные системы и комплексы
ПК-5 «готовность изучать научно-техническую информацию, отечественный и зарубежный опыт по тематике профессиональной деятельности»	
1	Математика. Аналитическая геометрия и линейная алгебра
1	Дискретная математика
1	Математика. Математический анализ
1	Инженерная и компьютерная графика
2	Учебная практика по получению первичных профессиональных умений и навыков, в том числе первичных умений и навыков научно-исследовательской деятельности
2	Математика. Математический анализ
2	Химия
3	Математика. Теория вероятностей и математическая статистика
3	Основы профилизации
3	Материаловедение
4	Электроника
4	Математика. Теория вероятностей и математическая статистика
5	Профессионально-прикладная педагогическая подготовка
5	Электроника
5	Защита интеллектуальной собственности
6	Физические методы получения информации
6	Силовая электроника
6	Системы управления приводом
6	Производственная практика научно-исследовательская работа
7	Силовая электроника
7	Электромагнитная совместимость
7	Системы управления приводом
7	Контроль качества и испытания продукции
8	Накопители электромагнитной энергии

ПК-14 «способность разрабатывать функциональные и структурные схемы элементов и узлов экспериментальных и промышленных установок, проекты изделий с учетом технологических, экономических и эстетических параметров»	
3	Электротехника
4	Электротехника
5	Теория автоматического управления
5	Электромеханические и полупроводниковые преобразователи электрической энергии
6	Силовая электроника
6	Схемотехника средств контроля
6	Теория автоматического управления
6	Системы управления приводом
6	Физические методы получения информации
7	Диагностика электромеханических устройств
7	Системы управления приводом
7	Теория автоматического управления
7	Микропроцессорные средства контроля и диагностики
7	Физические принципы конструирования приборов контроля и диагностики
7	Силовая электроника
7	Микропроцессорные устройства систем управления
7	Контроль качества и испытания продукции
8	Контроль и диагностика электромеханических и электроэнергетических систем и комплексов
8	Технические средства систем управления
8	Электрические аппараты

10.3. В качестве критериев оценки уровня сформированности (освоения) у обучающихся компетенций применяется шкала модульно–рейтинговой системы университета. В таблице 15 представлена 100–балльная и 4–балльная шкалы для оценки сформированности компетенций.

Таблица 15 –Критерии оценки уровня сформированности компетенций

Оценка компетенции		Характеристика сформированных компетенций
100-балльная шкала	4-балльная шкала	
$85 \leq K \leq 100$	«отлично» «зачтено»	<ul style="list-style-type: none"> - обучающийся глубоко и всесторонне усвоил программный материал; - уверенно, логично, последовательно и грамотно его излагает; - опираясь на знания основной и дополнительной литературы, тесно привязывает усвоенные научные положения с практической деятельностью направления; - умело обосновывает и аргументирует выдвигаемые им идеи; - делает выводы и обобщения; - свободно владеет системой специализированных понятий.

$70 \leq K \leq 84$	«хорошо» «зачтено»	<ul style="list-style-type: none"> - обучающийся твердо усвоил программный материал, грамотно и по существу излагает его, опираясь на знания основной литературы; - не допускает существенных неточностей; - увязывает усвоенные знания с практической деятельностью направления; - аргументирует научные положения; - делает выводы и обобщения; - владеет системой специализированных понятий.
$55 \leq K \leq 69$	«удовлетворительно» «зачтено»	<ul style="list-style-type: none"> - обучающийся усвоил только основной программный материал, по существу излагает его, опираясь на знания только основной литературы; - допускает несущественные ошибки и неточности; - испытывает затруднения в практическом применении знаний направления; - слабо аргументирует научные положения; - затрудняется в формулировании выводов и обобщений; - частично владеет системой специализированных понятий.
$K \leq 54$	«неудовлетворительно» «не зачтено»	<ul style="list-style-type: none"> - обучающийся не усвоил значительной части программного материала; - допускает существенные ошибки и неточности при рассмотрении проблем в конкретном направлении; - испытывает трудности в практическом применении знаний; - не может аргументировать научные положения; - не формулирует выводов и обобщений.

10.4. Типовые контрольные задания или иные материалы:

1. Вопросы (задачи) для экзамена (таблица 16)

Таблица 16 – Вопросы (задачи) для экзамена

№ п/п	Перечень вопросов (задач) для экзамена
1.	Применение метода мгновенных значений при исследовании устройств силовой электроники.
2.	Применение методов полезной составляющей и эквивалентных источников при исследовании устройств силовой электроники..
3.	Реальные и идеальные вольтамперные характеристики полупроводниковых диодов, тиристоров и транзисторов.
4.	Однофазный мостовой выпрямитель: схема, временные диаграммы, принцип работы, вывод расчетных соотношений.
5.	Трехфазный однотактный выпрямитель: схема, временные диаграммы, принцип работы.
6.	Особенности работы трансформатора в трехфазном однотактном выпрямителе.
7.	Трехфазный однотактный управляемый выпрямитель: схема, принцип работы, вывод выражения $Ud\alpha = f(\alpha)$.

8.	Трехфазный мостовой управляемый выпрямитель: схема, временные диаграммы, вывод основных расчетных соотношений.
9	Шестифазный однокатный выпрямитель: схема, временные диаграммы, вывод основных расчетных соотношений.
10	Влияние индуктивности нагрузки на работу управляемого выпрямителя. Пояснить на примере любой схемы выпрямителя.
11	Коммутация тока в выпрямителях: влияние на величину выпрямленного напряжения, вывод выражения для угла коммутации γ .
12	Внешняя характеристика управляемого выпрямителя, $U_d \alpha = f(I_d)$ при $\alpha = const$.
13	Регулировочные характеристики управляемых выпрямителей $U_d \alpha = f(\alpha)$ при $I_d = 0$ и $I_d = I_{dN}$, $I_d = const$.
14	Коэффициент пульсаций выпрямленного напряжения. Определение коэффициента пульсаций графоаналитическим и аналитическим методами.
15	L-C фильтр, вывод выражения коэффициента сглаживания фильтра.
16	L-фильтр. Вывод выражения для коэффициента сглаживания фильтра.
17	Зависимый инвертор: схема, принцип работы, условия перевода управляемого выпрямителя в режим инвертирования.
18	Коэффициент мощности и коэффициент полезного действия управляемого выпрямителя
19	Коэффициент мощности и коэффициент полезного действия зависимого инвертора
20	Тиристорный регулятор напряжения переменного тока: устройство, принцип работы
21	Трехфазный тиристорный регулятор напряжения переменного тока: устройства, принцип работы..
22	Система импульсно-фазового управления: устройство, принцип работы
23	Однофазный мостовой инвертор тока параллельного типа: схема, временные диаграммы, принцип работы, вывод основных расчетных соотношений
24	Однофазный мостовой инвертор последовательного типа: схема, временные диаграммы, принцип работы, вывод основных расчетных соотношений.
25	Однофазный мостовой инвертор последовательно-параллельного типа: схема, временные диаграммы, принцип работы, вывод основных расчетных соотношений

26	Резонансный режим работы инвертора последовательного типа
27	Резонансный режим работы инвертора последовательно-параллельного типа
28	Однофазный мостовой инвертор напряжения: схема, временные диаграммы, принцип работы, вывод выражений для P_{d1} , P_{d2} , P_d .
29	Широтное регулирование выходного напряжения инвертора напряжения; зависимость гармонического состава выходного напряжения от длительности импульса полуволны выходного напряжения.
30	Широтно-импульсное регулирование выходного напряжения инвертора напряжения; гармонический состав выходного напряжения.
31	Трехфазный транзисторный инвертор напряжения с $\lambda_{II} = 180^\circ$: схема, временные диаграммы, принцип работы, вывод выражения действующих значений напряжений U_Φ и U_L .
32	Трехфазный транзисторный инвертор напряжения с $\lambda_{II} = 120^\circ$: схема, временные диаграммы, принцип работы, вывод выражения действующих значений напряжений U_Φ и U_L .
33	Выходной фильтр инвертора напряжения. Расчет параметров.
34	Преобразователи частоты со звеном постоянного тока: основные структурные схемы, достоинства, недостатки.
35	Преобразователь частоты без звена постоянного тока с естественной коммутацией: схема, временные диаграммы, принцип работы.
36	Преобразователь частоты без звена постоянного тока с искусственной коммутацией: схема, временные диаграммы, принцип работы.
1	Классификация ВИП, сравнительная оценка схемных вариантов построения ВИП
2	Преобразователь постоянного тока в постоянный ток с последовательным ключевым элементом: схема, временные диаграммы, принцип работы,
3	Преобразователь постоянного тока в постоянный ток с последовательным ключевым элементом: расчет загрузки элементов, регулировочная и внешняя характеристики.
4	Преобразователь постоянного тока в постоянный ток с параллельным ключевым элементом: схема, временные диаграммы, принцип работы,
5	Преобразователь постоянного тока в постоянный ток с параллельным ключевым элементом: расчет загрузки элементов, регулировочная и внешняя характеристики.

6	Двухкаскадный преобразователь постоянного тока в постоянный ток, выполненный по схеме (ППТ-1) +(ППТ-2): устройство, принцип работы, характеристики
7	. Двухкаскадный преобразователь постоянного тока в постоянный ток, выполненный по схеме (ППТ-2) + (ППТ-1): устройство, принцип работы, характеристики
8	Устройство, принцип работы, характеристики реверсивного ШИП при симметричном управлении.
9	Устройство, принцип работы, характеристики реверсивного ШИП при несимметричном управлении
10	Методика расчета трансформатора ВИП, выполненного по схеме прямоходового ТОК.
11	Методика расчета загрузки транзистора и диодов по току и напряжению ВИП, выполненного по схеме прямоходового ТОК.
12	Методика расчета трансформатора ВИП, выполненного по схеме обратногоходового ТОК
13	Методика расчета загрузки транзистора и диодов по току и напряжению ВИП, выполненного по схеме обратногоходового ТОК
14	Методика расчета трансформатора ВИП, выполненного по двухтактной полномостовой схеме
15	Методика расчета загрузки транзисторов и диодов по току и напряжению ВИП, выполненного по двухтактной полномостовой схеме
16	Методика расчета трансформатора ВИП, выполненного по двухтактной полумостовой схеме
17	Методика расчета загрузки транзисторов и диодов по току и напряжению ВИП, выполненного по двухтактной полумостовой схеме
18	Методика расчета трансформатора ВИП, выполненного по двухтактной схеме с выводом нулевой точки первичной обмотки трансформатора
19	Методика расчета загрузки транзисторов и диодов по току и напряжению ВИП, выполненного по двухтактной схеме с выводом нулевой точки первичной обмотки трансформатора
20	Методика расчета трансформатора ВИП, выполненного по двухтактной одноплечевой схеме
21	Методика расчета загрузки транзисторов и диодов по току и напряжению ВИП, выполненного по двухтактной одноплечевой схеме

22	Методика расчета параметрического стабилизатора.
23	Методика расчета стабилизатора напряжения непрерывного типа.
24	Расчет потерь мощности транзистора, работающего в режиме переключения
25	Методика расчета схемы защиты ВИП от сверхтоков
26	Основы методики выбора радиатора для транзисторов и диодов
27	Основы методики расчета входного фильтра ШИП.
28	Основы методики статического расчета ВИП со стабилизацией напряжения
29	Методика расчета ВИП с выходом на переменном токе, выполненном на основе однофазного полномостового инвертора
30	Методика расчета ВИП с выходом на переменном токе, выполненном на основе однофазного полумостового инвертора.

2. Вопросы (задачи) для зачета / дифференцированного зачета (таблица 17)

Таблица 17 – Вопросы (задачи) для зачета / дифф. зачета

№ п/п	Перечень вопросов (задач) для зачета / дифференцированного зачета
	Учебным планом не предусмотрено

3. Темы и задание для выполнения курсовой работы / выполнения курсового проекта (таблица 18)

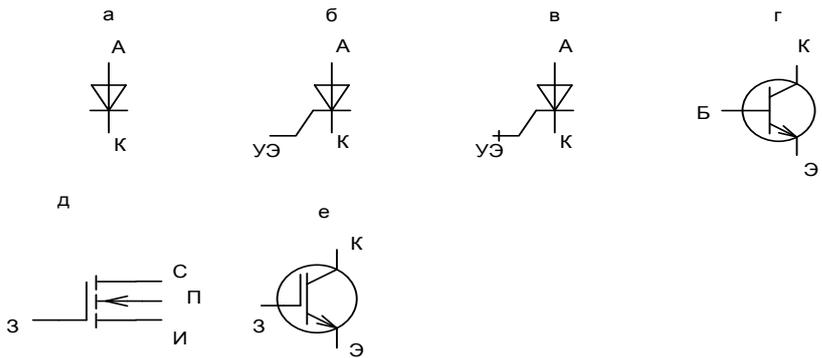
Таблица 18 – Примерный перечень тем для выполнения курсовой работы / выполнения курсового проекта

№ п/п	Примерный перечень тем для выполнения курсовой работы / выполнения курсового проекта
1	Однотактный полупроводниковый преобразователь с последовательным ключевым элементом
2	Однотактный полупроводниковый преобразователь с параллельным ключевым элементом
3	Однотактный прямоходовой преобразователь постоянного напряжения
4	Однотактный обратноходовой преобразователь постоянного напряжения
5	Двухтактный преобразователь постоянного напряжения с выводом нулевой точки первичной обмотки трансформатора
6	Двухтактный преобразователь постоянного напряжения, выполненный по полумостовой схеме

7	Двухтактный преобразователь постоянного напряжения, выполненный по полномостовой схеме
---	--

4. Вопросы для проведения промежуточной аттестации при тестировании (таблица 19)

Таблица 19 – Примерный перечень вопросов для тестов

№ п/п	Примерный перечень вопросов для тестов
1	<p>Вопрос №1</p>  <p>Укажите какой из рисунков (а, б, в, г, д, е) соответствует условному изображению:</p> <ul style="list-style-type: none"> – биполярного транзистора (<i>n-p-n</i>-типа); – диода; – запираемого тиристора (двухоперационный управляемый вентиль) с управлением по катоду; – тиристора (однооперационный управляемый вентиль) триодного типа с управлением по катоду; – комбинированного транзистора (IGBT) с каналом <i>n</i>-типа – полевого транзистора МДП-типа (с изолированным затвором) с индукционным каналом <i>n</i>-типа; <p>Вопрос №2. Укажите какие условия необходимо выполнить для того, чтобы через диод начал протекать ток?</p>
	Вопрос №3. Укажите какие условия необходимо выполнить для того, чтобы через тиристор начал протекать ток?
	Вопрос №4. Укажите в чем заключается отличие между однооперационным и двухоперационным тиристором?
	Вопрос №5. Укажите в чем заключается отличие в форме импульсов управления транзистора и двухоперационного тиристора?
	Вопрос №6. Укажите какое из трех нижеприведенных определений выпрямителя (1, 2 или 3) - правильное:

	<ol style="list-style-type: none"> 1. Выпрямитель преобразует электрическую энергию переменного тока в электрическую энергию постоянного тока; 2. Выпрямитель преобразует электрическую энергию постоянного тока в электрическую энергию переменного тока; 3. Выпрямитель преобразует электрическую энергию постоянного тока с напряжением U_1 в электрическую энергию постоянного тока с напряжением U_2.
	Вопрос №7. Укажите на каких полупроводниковых приборах (транзисторах, тиристорах или диодах) выполняются неуправляемые выпрямители.
	Вопрос №8. Нарисуйте схему однофазного неуправляемого выпрямителя.
	Вопрос №9. Нарисуйте схему трехфазного однотактного управляемого выпрямителя.
	Вопрос №10. Нарисуйте схему трехфазного мостового неуправляемого выпрямителя.
	Вопрос №11. Укажите для каких целей в выпрямителях применяют трансформаторы.
	Вопрос №12. Укажите для каких целей в выпрямителях применяют сглаживающие фильтры.
	Вопрос №13. Определите чему будет равно среднее значение выпрямленного напряжения однофазного мостового неуправляемого выпрямителя, если на его вход подано напряжение переменного тока, равное 100 В?
	Вопрос №14. Определите чему будет равно среднее значение выпрямленного напряжения трехфазного мостового неуправляемого выпрямителя, если на его вход подано напряжение переменного тока, равное 100 В?
	Вопрос №15. Определите чему будет равно среднее значение выпрямленного напряжения трехфазного однотактного неуправляемого выпрямителя, если на его вход подано напряжение переменного тока, равное 100 В?
	Вопрос №16. Определите чему равно среднее значение тока диода однофазного мостового неуправляемого выпрямителя, если ток нагрузки равен 100 А.
	Вопрос №17. Определите чему равно среднее значение тока диода трехфазного однотактного неуправляемого выпрямителя, если ток нагрузки равен 150 А.
	Вопрос №18. Определите чему равно среднее значение тока диода трехфазного мостового неуправляемого выпрямителя, если ток нагрузки равен 150 А.
	Вопрос №19. Определите чему равно максимальное амплитудное значение обратного напряжения диода однофазного мостового неуправляемого выпрямителя, если на его вход подано напряжение переменного тока, действующее значение которого равно 100 В?
	Вопрос №20. Определите чему равно максимальное амплитудное значение обратного напряжения диода трехфазного мостового неуправляемого выпрямителя, если на его вход подано напряжение переменного тока, действующее значение которого равно 100 В?

	Вопрос №21. Определите чему равно максимальное амплитудное значение обратного напряжения диода трехфазного однотактного неуправляемого выпрямителя, если на его вход подано напряжение переменного тока, действующее значение которого равно 100 В?
	Вопрос №22. Укажите величину коэффициента пульсаций выпрямленного напряжения однофазного мостового неуправляемого выпрямителя.
	Вопрос №23. Укажите величину коэффициента пульсаций выпрямленного напряжения трехфазного мостового неуправляемого выпрямителя.
	Вопрос №24. Укажите величину коэффициента пульсаций выпрямленного напряжения трехфазного однотактного неуправляемого выпрямителя.
	Вопрос №25. Укажите величину коэффициента пульсаций выпрямленного напряжения трехфазного однотактного неуправляемого выпрямителя.
	Вопрос №26. Укажите в каком из выпрямителей - однофазном мостовом, трехфазном однотактном или трехфазном мостовом, имеет место вынужденное подмагничивание сердечника магнитопровода трансформатора постоянным потоком.
	Вопрос №27. Дайте определение понятию «Угол регулирования α ».
	Вопрос №28. Дайте определение понятию «Угол коммутации γ ».
	Вопрос №29. Дайте определение понятию «граничное значение угла регулирования $\alpha_{гр}$ ».
	Вопрос №30. Укажите значение угла $\alpha_{гр}$ для однофазного мостового управляемого выпрямителя, работающего на чисто активную нагрузку.
	Вопрос №31. Укажите значение угла $\alpha_{гр}$ для трехфазного мостового управляемого выпрямителя, работающего на чисто активную нагрузку.
	Вопрос №32. Укажите значение угла $\alpha_{гр}$ для трехфазного однотактного управляемого выпрямителя, работающего на чисто активную нагрузку. Вопрос №33. Дайте определение понятию «угол запираания $\alpha_{зап}$ ».
	Вопрос №34. Укажите значение угла $\alpha_{зап}$ для однофазного мостового управляемого выпрямителя, работающего на чисто активную нагрузку.
	Вопрос №35. Укажите значение угла $\alpha_{зап}$ для трехфазного мостового управляемого выпрямителя, работающего на чисто активную нагрузку.
	Вопрос №36. Укажите значение угла $\alpha_{зап}$ для трехфазного однотактного управляемого выпрямителя, работающего на чисто активную нагрузку.
	Вопрос №37. Укажите как влияет ток нагрузки на величину угла коммутации γ (увеличивает его или уменьшает).
	Вопрос №38. Укажите как влияет напряжение переменного тока на величину угла коммутации γ (увеличивает его или уменьшает).
	Вопрос №39. Укажите как влияет индуктивное сопротивление рассеяния обмотки сетевого трансформатора на величину угла коммутации γ (увеличивает его или

	уменьшает).
	Вопрос №40. Укажите как влияет увеличение угла коммутации γ управляемого выпрямителя на величину его коэффициента мощности χ (увеличивает его или уменьшает).
	Вопрос №41. Укажите как влияет увеличение угла регулирования α управляемого выпрямителя на величину его коэффициента мощности χ (увеличивает его или уменьшает).
	Вопрос №42. Укажите по какой формуле (№1 или №2) следует рассчитывать коэффициент полезного действия выпрямителя η_v : $\eta = P_d/P_2$ (1); $\eta = P_2/P_d$ (2), где $P_d=U_d I_d$ -мощность цепи постоянного тока преобразователя; $P_2=m_2 U_2 I_2 \cos\varphi$ –активная мощность цепи переменного тока преобразователя.
	Вопрос №43. Укажите какое из трех нижеприведенных определений инвертора (1, 2 или 3) - правильное: 1. Инвертор преобразует электрическую энергию переменного тока в электрическую энергию постоянного тока; 2. Инвертор преобразует электрическую энергию постоянного тока в электрическую энергию переменного тока; 3. Инвертор преобразует электрическую энергию постоянного тока с напряжением U_1 в электрическую энергию постоянного тока с напряжением U_2 .
	Вопрос №44. Укажите в каких пределах $0 < \alpha < 90^\circ$ или $90^\circ < \alpha < 180^\circ$ должен находиться угол регулирования α в режиме инвертирования. Вопрос №45. Укажите следует ли изменять полярность напряжения цепи постоянного тока выпрямителя на противоположное при переводе выпрямителя в режим инвертирования.
	Вопрос №46. Укажите параметры зависимого инвертора, воздействуя на которые можно регулировать величину мощности, отдаваемой зависимым инвертором в сеть переменного тока.
	Вопрос №47. Укажите по какой формуле (№1 или №2) следует рассчитывать коэффициент полезного действия зависимого инвертора $\eta_{з.и}$: $\eta = P_d/P_2$ (1); $\eta = P_2/P_d$ (2), где $P_d=U_d I_d$ -мощность цепи постоянного тока преобразователя; $P_2=m_2 U_2 I_2 \cos\varphi$ –активная мощность цепи переменного тока преобразователя
	Вопрос №48. Поясните, что означает термин «вторичный источник питания».

	<p>Вопрос №49. Укажите возможный диапазон регулирования выходного напряжения (1, 2, 3 или 4) ВИП, выполненного по схеме ОДППН I рода.</p> <p>1 - $U_{\text{ВЫХ}} > U_{\text{ВХ}}$;</p> <p>2 - $U_{\text{ВЫХ}} < U_{\text{ВХ}}$;</p> <p>3 - $U_{\text{ВЫХ}} = U_{\text{ВХ}}$;</p> <p>4 - $U_{\text{ВЫХ}}$ может быть как больше, так и меньше $U_{\text{ВХ}}$.</p>
	<p>Вопрос №50. Укажите возможный диапазон регулирования выходного напряжения (1, 2, 3 или 4) ВИП, выполненного по схеме ОДППН II рода:</p> <p>1 - $U_{\text{ВЫХ}} > U_{\text{ВХ}}$;</p> <p>2 - $U_{\text{ВЫХ}} < U_{\text{ВХ}}$;</p> <p>3 - $U_{\text{ВЫХ}} = U_{\text{ВХ}}$;</p> <p>4 - $U_{\text{ВЫХ}}$ может быть как больше, так и меньше $U_{\text{ВХ}}$.</p>
	<p>Вопрос №51. Укажите возможный диапазон регулирования выходного напряжения (1, 2, 3 или 4) ВИП, выполненного по схеме ДППН I:</p> <p>1 - $U_{\text{ВЫХ}} > U_{\text{ВХ}}$;</p> <p>2 - $U_{\text{ВЫХ}} < U_{\text{ВХ}}$;</p> <p>3 - $U_{\text{ВЫХ}} = U_{\text{ВХ}}$;</p> <p>4 - $U_{\text{ВЫХ}}$ может быть как больше, так и меньше $U_{\text{ВХ}}$.</p>
	<p>Вопрос №52. Укажите возможный диапазон регулирования выходного напряжения (1, 2, 3 или 4) ВИП, выполненного по схеме ДППН II:</p> <p>1 - $U_{\text{ВЫХ}} > U_{\text{ВХ}}$;</p> <p>2 - $U_{\text{ВЫХ}} < U_{\text{ВХ}}$;</p> <p>3 - $U_{\text{ВЫХ}} = U_{\text{ВХ}}$;</p> <p>4 - $U_{\text{ВЫХ}}$ может быть как больше, так и меньше $U_{\text{ВХ}}$.</p>
	<p>Вопрос №53. Укажите возможный диапазон регулирования выходного напряжения (1, 2, 3 или 4) ВИП, выполненного по схеме ДППН III:</p> <p>1 - $U_{\text{ВЫХ}} > U_{\text{ВХ}}$;</p> <p>2 - $U_{\text{ВЫХ}} < U_{\text{ВХ}}$;</p> <p>3 - $U_{\text{ВЫХ}} = U_{\text{ВХ}}$;</p> <p>4 - $U_{\text{ВЫХ}}$ может быть как больше, так и меньше $U_{\text{ВХ}}$.</p>
	<p>Вопрос №54. Укажите возможный диапазон регулирования выходного напряжения (1, 2, 3 или 4) ВИП, выполненного по схеме ООП:</p> <p>1 - $U_{\text{ВЫХ}} > U_{\text{ВХ}}$;</p> <p>2 - $U_{\text{ВЫХ}} < U_{\text{ВХ}}$;</p>

	<p>3 - $U_{\text{ВЫХ}}=U_{\text{ВХ}}$;</p> <p>4 - $U_{\text{ВЫХ}}$ может быть как больше, так и меньше $U_{\text{ВХ}}$</p>
	<p>Вопрос №55. Укажите возможный диапазон регулирования выходного напряжения (1, 2, 3 или 4) ВИП, выполненного по схеме ОПП:</p> <p>1 - $U_{\text{ВЫХ}}>U_{\text{ВХ}}$;</p> <p>2 - $U_{\text{ВЫХ}}<U_{\text{ВХ}}$;</p> <p>3 - $U_{\text{ВЫХ}}=U_{\text{ВХ}}$;</p> <p>4 - $U_{\text{ВЫХ}}$ может быть как больше, так и меньше $U_{\text{ВХ}}$.</p>
	<p>Вопрос №56. Укажите формулу (1, 2 или 3), по которой следует определять коэффициент пульсаций выходного напряжения ВИП:</p> <p>1 - $k_{\text{П}}=U_{\text{ПМ}}/U_{\text{НГ.ср}}$;</p> <p>2 - $k_{\text{П}}=U_{\text{ПМ}}/U_{\text{ВХ.ср}}$;</p> <p>3 - $k_{\text{П}}=U_{\text{НГ.ср}}/U_{\text{ВХ.ср}}$.</p>
	<p>Вопрос №57. Укажите формулу (1, 2, 3 или 4), по которой следует рассчитывать величину выходного напряжения ВИП, выполненного по схеме ОППН I:</p> <p>1 - $U_{\text{ВЫХ.ср}}=U_{\text{ВХ}}\gamma$;</p> <p>2 - $U_{\text{ВЫХ.ср}}=U_{\text{ВХ}}/\gamma$;</p> <p>3 - $U_{\text{ВЫХ.ср}}=U_{\text{ВХ}}(1-\gamma)$;</p> <p>4 - $U_{\text{ВЫХ.ср}}=U_{\text{ВХ}}/(1-\gamma)$.</p>
	<p>Вопрос №58. Укажите формулу (1, 2, 3 или 4), по которой следует рассчитывать величину выходного напряжения ВИП, выполненного по схеме ОППН II:</p> <p>1 - $U_{\text{ВЫХ.ср}}=U_{\text{ВХ}}\gamma$;</p> <p>2 - $U_{\text{ВЫХ.ср}}=U_{\text{ВХ}}/\gamma$;</p> <p>3 - $U_{\text{ВЫХ.ср}}=U_{\text{ВХ}}(1-\gamma)$;</p> <p>4 - $U_{\text{ВЫХ.ср}}=U_{\text{ВХ}}/(1-\gamma)$.</p>
	<p>Вопрос №59. Укажите формулу (1, 2, 3 или 4), по которой следует рассчитывать величину выходного напряжения ВИП, выполненного по схеме ДППН I:</p> <p>1 - $U_{\text{ВЫХ.ср}}=U_{\text{ВХ}}\gamma/k_{\text{ТР}}$;</p> <p>2 - $U_{\text{ВЫХ.ср}}=U_{\text{ВХ}}/(\gamma k_{\text{ТР}})$;</p> <p>3 - $U_{\text{ВЫХ.ср}}=U_{\text{ВХ}}(1-\gamma)/k_{\text{ТР}}$;</p> <p>4 - $U_{\text{ВЫХ.ср}}=U_{\text{ВХ}}/[(1-\gamma)k_{\text{ТР}}]$.</p>
	<p>Вопрос №60. Укажите формулу (1, 2, 3 или 4), по которой следует рассчитывать величину выходного напряжения ВИП, выполненного по схеме ДППН II:</p> <p>1 - $U_{\text{ВЫХ.ср}}=U_{\text{ВХ}}\gamma/k_{\text{ТР}}$;</p>

	<p>2 - $U_{\text{вых.ср}}=U_{\text{вх}}/(\gamma k_{\text{тр}})$;</p> <p>3 - $U_{\text{вых.ср}}=U_{\text{вх}}(1-\gamma)/k_{\text{тр}}$;</p> <p>4 - $U_{\text{вых.ср}}=U_{\text{вх}}/[(1-\gamma)k_{\text{тр}}]$.</p>
	<p>Вопрос №61. Укажите формулу (1, 2, 3 или 4), по которой следует рассчитывать величину выходного напряжения ВИП, выполненного по схеме ОПП:</p> <p>1 - $U_{\text{вых.ср}}=U_{\text{вх}}\gamma/k_{\text{тр}}$;</p> <p>2 - $U_{\text{вых.ср}}=U_{\text{вх}}/(\gamma k_{\text{тр}})$;</p> <p>3 - $U_{\text{вых.ср}}=U_{\text{вх}}(1-\gamma)/k_{\text{тр}}$;</p> <p>4 - $U_{\text{вых.ср}}=U_{\text{вх}}/[(1-\gamma)k_{\text{тр}}]$.</p>
	<p>Вопрос №62. Укажите формулу (1, 2, 3 или 4), по которой следует рассчитывать величину выходного напряжения ВИП, выполненного по схеме ООП:</p> <p>1 - $U_{\text{вых.ср}}=U_{\text{вх}}\gamma/k_{\text{тр}}$;</p> <p>2 - $U_{\text{вых.ср}}=U_{\text{вх}}/(\gamma k_{\text{тр}})$;</p> <p>3 - $U_{\text{вых.ср}}=U_{\text{вх}}(1-\gamma)/k_{\text{тр}}$;</p> <p>4 - $U_{\text{вых.ср}}=U_{\text{вх}}/[(1-\gamma)k_{\text{тр}}]$.</p>
	<p>Вопрос №63. Укажите формулу (1, 2 или 3) для расчета коэффициента полезного действия ВИП η:</p> <p>1 - $\eta=P_{\text{нг}}/P_{\text{вх}}$;</p> <p>2 - $\eta=P_{\text{вх}}/P_{\text{нг}}$;</p> <p>3 - $\eta=1-P_{\text{нг}}/P_{\text{вх}}$.</p>
	<p>Вопрос №64. Укажите формулу (1, 2 или 3) для расчета требуемого общего коэффициента усиления замкнутой по напряжению системы ВИП:</p> <p>1 - $K=\Delta U_{\text{нг. раз}}/\Delta U_{\text{нг. замк}}-1$;</p> <p>2 - $K=U_{\text{нг. ном}}/U_{\text{упр. макс}}-1$;</p> <p>3 - $K=U_{\text{нг. ном}}/U_{\text{оп. макс}}-1$.</p>
	<p>Вопрос №65. Укажите формулу для расчета коэффициента усиления силовой схемы ВИП:</p> <p>1 - $k_{\text{пр}}=E_{\text{пр}}/U_{\text{упр. макс}}$;</p> <p>2 - $k_{\text{пр}}=E_{\text{пр}}/U_{\text{оп. макс}}$;</p> <p>3 - $k_{\text{пр}}=E_{\text{пр}}/U_{\text{вх. ном}}$;</p>
	<p>Вопрос №66. Укажите формулу для расчета коэффициента передачи датчика напряжения для цепи обратной связи ВИП по напряжению нагрузки:</p> <p>1 - $k_{\text{дп}}=U_{\text{нг ном}}/U_{\text{осн}}$;</p> <p>2 - $k_{\text{дп}}=U_{\text{вх ном}}/U_{\text{осн}}$;</p>

	$3 - k_{дп} = U_{осн} / U_{упр.}$
--	-----------------------------------

5. Контрольные и практические задачи / задания по дисциплине (таблица 20)

Таблица 20 – Примерный перечень контрольных и практических задач / заданий

№ п/п	Примерный перечень контрольных и практических задач / заданий
	<p>ЗАДАЧИ</p> <p>Первая задача - по разделу «Выпрямители», Вторая задача по разделу «Автономные инверторы».</p> <p>Для студентов заочников эти задачи служат контрольными заданиями.</p> <p>Контрольное задание выполняется студентом самостоятельно. Номера вариантов заданий как первой, так и второй задачи одинаковы и соответствуют порядковому номеру фамилии студента в списке учебной группы. Отчет о выполнении контрольного задания оформляется на листах формата А4 и содержит текстовый материал и необходимые рисунки и временные диаграммы.</p> <p>При решении первой задачи контрольного задания необходимо для заданного варианта схемы управляемого выпрямителя (смотри таблицу 16-1):</p> <ul style="list-style-type: none"> - нарисовать схему выпрямителя; - построить временные диаграммы напряжений сети переменного тока для указанной схемы выпрямления. <p>Используя временные диаграммы напряжений сети переменного тока, построить временную диаграмму напряжения нагрузки для заданных значениях угла регулирования и индуктивности цепи нагрузки.</p> <p>Пользуясь графо-аналитическим методом по временной диаграмме напряжения нагрузки определить коэффициент пульсаций выпрямленного напряжения ($k_{п1} =$)</p> <p>Схема управляемого выпрямителя задана двумя параметрами:</p> <ul style="list-style-type: none"> - числом фаз сети переменного тока выпрямителя, $m_2 =$, и коэффициентом тактности выпрямителя $k_T =$. Напомним, что схемы выпрямителей с выводом нулевой точки трансформатора имеют коэффициент тактности $k_T = 1$, а мостовые схемы имеют коэффициент тактности $k_T = 2$. <p>Угол регулирования α задан в градусах, ($\alpha =$,град.);</p> <p>Характер нагрузки зависит от наличия или отсутствия индуктивности в цепи нагрузки. При наличии индуктивности в цепи нагрузки $L_d = L_{dN}$ нагрузки имеет активно-индуктивный характер, а при отсутствии индуктивности в цепи нагрузки $L_d = 0$ нагрузка имеет чисто индуктивный характер.</p>

Варианты задания

Таблица 16-1

Вар.	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
m2	1	1	1	1	1	1	1	1	3	3
кт	2	2	2	2	2	2	2	2	1	1
α , град.	30	45	45	90	90	30	120	150	30	60
Ld	0	Ld_N	0	Ld_N	0	Ld_N	0	0	0	0

Продолжение таблицы 16-1

Вар.	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
m2	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3
кт	1	1	1	1	2	2	2	2	2	2
α , град.	60	90	90	120	30	60	60	90	90	0
Ld	Ld_N	0	Ld_N	0	0	0	Ld_N	0	Ld_N	0

Методические рекомендации для выполнения первого задания приведены в [1], раздел 3.5. Методические рекомендации по расчету коэффициента пульсаций выпрямленного напряжения приведены в [1], стр.94-95.

В качестве примера в приложении 1 приведен пример решения задачи №1 для случая однофазной мостовой схемы выпрямления, активно-индуктивном характере нагрузки и значении угла регулирования $\alpha = 60^\circ$.

При решении второй задачи необходимо для одной заданной схемы инвертора (А,Б или В) выполнить расчет параметров силовой схемы, включая и параметры выходного фильтра.

Принятые в таблице 16-2 обозначения схем однофазных инверторов напряжения:

- схема А – однофазная схема с выводом нулевой точки первичной обмотки трансформатора;
- схема Б -полумостовая схема;
- схема В -полномостовая (мостовая) схема .

Исходные данные, необходимые для расчета:

Схема инвертора;

Напряжение нагрузки, $U_{нгN} = B$;

Ток нагрузки, $I_{нгN} = A$;

Частота выходного напряжения, $f = \text{Гц}$;

Напряжение входной сети, $U_{вхN} = B$;

Допустимое отклонение напряжения входной сети $\pm \Delta U_{вх} = \%$;

Требуемый коэффициент гармоник выходного напряжения, $k_{г.вых} =$.

Коэффициент мощности нагрузки, $\cos \varphi_{нг} =$. (Угол $\varphi_{нг} =$).

Регулирование выходного напряжения осуществляется посредством широтного способа регулирования.

По разделу «инверторы» необходимо выполнить расчет параметров однофазного инвертора напряжения с выходным фильтром и выполнить выбор его элементов.

Требуется:

- нарисовать схему инвертора;
- построить временные диаграммы, поясняющие принцип работы инвертора;
- рассчитать загрузку элементов схемы (транзисторов, диодов) по току и напряжению;
- рассчитать требуемый диапазон изменения коэффициента скважности γ ;

Варианты заданий сведены в таблицу 16-2 .

Таблица 16-2

Параметры	Варианты заданий									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Схема инвертора	А	Б	В	А	Б	В	А	Б	В	А
$U_{нгN}, B$	36	115	220	60	70	80	90	100	115	220
$I_{нгN}, A$	1	1,0	0,8	4	5	4	3	2	1,0	0,8
$f, \text{Гц}$	50	400	50	300	400	300	200	100	400	50
$U_{вхN}, B$	12	10	15	12	24	36	12	24	12	18
$\pm \Delta U_{вх}, \%$	10	0,1	0,1	10	15	20	15	10	10	15
$k_{г.вых}$	0,05	0,8	0,7	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05	0,1	0,1
$\cos \varphi_{нг}$	1,0	0,9	0,8	0,7	0,8	0,9	1,0	0,9	0,8	0,7

Продолжение таблицы 16-2

Параметры	Варианты заданий									
	1 1	1 2	1 3	1 4	15	16	17	18	1 9	2 0
Схема инвертора	Б	В	А	Б	В	А	Б	В	А	Б
$U_{нгN}, B$	115	220	115	220	200	127	36	48	115	220
$I_{нгN}, A$	1,0	0,8	1,5	0,9	0, 7	0, 9	2, 0	1, 5	1,0	0,8
$f, Гц$	400	50	400	50	400	50	50	50	400	50
$U_{вхN}, B$	12	18	24	36	48	60	110	12	12	18
$\pm \Delta U_{вх}, \%$	10	15	20	25	10	15	20	25	10	15
$k_{г.в.ых}$	0,1	0,1	0,1	0,1	0,08	0,08	0,08	0,08	0,1	0,1
$\cos \varphi_{нг}$	0,8	0,7	0,8	0,9	1,0	0,9	0,8	0,7	0,8	0,7

Требуется:

- нарисовать схему инвертора;
- построить временные диаграммы, поясняющие принцип работы инвертора;
- рассчитать загрузку элементов схемы (транзисторов, диодов) по току и напряжению;
- рассчитать требуемый диапазон регулирования коэффициента скважности γ ;
- рассчитать параметры трансформатора, необходимые для его выбора (напряжения и токи первичной и вторичной обмоток, расчетную мощность трансформатора);
- рассчитать выходной фильтр, необходимый для достижения требуемого по заданию коэффициента гармоник выходного напряжения ($k_{г.в.ых}$).

Варианты заданий второй задачи задаются студентам из таблицы 16-2.

Расчетные соотношения для определения загрузки транзисторов по току и напряжению приведены в [2], стр. 14-20, стр.40-45. Методика расчета выходного фильтра для всех трех схем одинакова и приведена в [2], стр.45-47.

Методические рекомендации по выполнению контрольного задания.

Перед выполнением контрольного задания следует внимательно изучить разделы учебного пособия, в которых изложены вопросы устройства, принципа работы и расчетные соотношения для определения загрузки элементов схемы по току и напряжению, как для выпрямителей, так и инверторов напряжения 2. Порядок выполнения контрольной работы изложен в разделе 3.5 учебного пособия [1], в котором приведен пример решения первой задачи контрольной работы, и в разделах 1.4, 1.9 и 1.10 учебного пособия [2], в которых приведены примеры расчета однофазного инвертора напряжения с выводом нулевой точки первичной обмотки

трансформатора (1.4) и расчета однофазного мостового инвертора напряжения (1.10).

10.5. Методические материалы, определяющие процедуры оценивания знаний, умений, навыков и / или опыта деятельности, характеризующих этапы формирования компетенций, содержатся в Положениях «О текущем контроле успеваемости и промежуточной аттестации студентов ГУАП, обучающихся по программы высшего образования» и «О модульно-рейтинговой системе оценки качества учебной работы студентов в ГУАП».

11. Методические указания для обучающихся по освоению дисциплины

Целью дисциплины является – получение студентами необходимых знаний, умений и навыков в области современных устройств и систем силовой электроники, что позволит им успешно решать теоретические и практические задачи в их профессиональной деятельности. Обучающиеся должны освоить дисциплину на уровне, позволяющем им ориентироваться в схемных решениях, математических моделях, свойствах и характеристиках устройств и систем силовой электроники. Уровень освоения дисциплины должен позволять студентам проводить типовые расчеты основных параметров и характеристик устройств и систем силовой электроники, проводить элементарные лабораторные испытания устройств и систем силовой электроники.

Методические указания для обучающихся по освоению лекционного материала приведены в «Методических указаниях по изучению дисциплины «Силовая электроника», размещенных на электронном ресурсе каф. №32, а также в учебных пособиях [1], [2], [3].и в учебно-методическом пособии [4].

Основное назначение лекционного материала – логически стройное, системное, глубокое и ясное изложение учебного материала. Назначение современной лекции в рамках дисциплины не в том, чтобы получить всю информацию по теме, а в освоении фундаментальных проблем дисциплины, методов научного познания, новейших достижений научной мысли. В учебном процессе лекция выполняет методологическую, организационную и информационную функции. Лекция раскрывает понятийный аппарат конкретной области знания, её проблемы, дает цельное представление о дисциплине, показывает взаимосвязь с другими дисциплинами.

Планируемые результаты при освоении обучающимся лекционного материала:

- получение современных, целостных, взаимосвязанных знаний, уровень которых определяется целевой установкой к каждой конкретной теме;
- получение опыта творческой работы совместно с преподавателем;
- развитие профессионально–деловых качеств, любви к предмету и самостоятельного творческого мышления.
- появление необходимого интереса, необходимого для самостоятельной работы;

- получение знаний о современном уровне развития науки и техники и о прогнозе их развития на ближайшие годы;
- научиться методически обрабатывать материал (выделять главные мысли и положения, приходиться к конкретным выводам, повторять их в различных формулировках);
- получение точного понимания всех необходимых терминов и понятий.

Лекционный материал может сопровождаться демонстрацией слайдов и использованием раздаточного материала при проведении коротких дискуссий об особенностях применения отдельных тематик по дисциплине.

Структура предоставления лекционного материала и методические указания по изучению дисциплины и вопросы для самоконтроля

Введение

Определение и назначение ППЭЭ. Основные характеристики полупроводниковых приборов, применяемых в ППЭЭ.

Литература [1], стр.3-14.

Методические указания.

При изучении этого раздела следует обратить внимание на основные рабочие параметры, характеристики, отличительные особенности и условные обозначения полупроводниковых приборов, применяемых в ППЭЭ.

Вопросы для самоконтроля:

1. Какие условия необходимо выполнить для включения: диода; однооперационного тиристора; ГТО-тиристора; биполярного транзистора; IGBT- транзистора; МОП-транзистора?
2. В чем заключается основное отличие между однооперационным тиристором и двухоперационным тиристором?
3. В чем заключаются основные отличия между биполярным и полевым транзисторами?
4. Сформулируйте определение комбинированного транзистора?
5. Какие предельные рабочие значения токов и напряжения имеют современные биполярные, IGBT, MOSFET-транзисторы, однооперационные и двухоперационные тиристоры?

Раздел 2. Выпрямители.

Тема 1. Структурная схема и классификация выпрямителей, основные параметры, характеризующие работу выпрямителя.

Литература [1], стр.14-21.

Методические указания.

При изучении этой темы следует обратить внимание на физическую сущность понятия «выпрямитель», разобраться с классификацией схем выпрямителей и перечнем основных параметров, характеризующих работу выпрямителя.

Вопросы для самоконтроля.

- 1 Сформулируйте определение понятию «выпрямитель».
- 2 Перечислите варианты выполнения выпрямителей:

- по возможности регулирования выходного напряжения;
- по фазности;
- по возможности поддержания высокого значения коэффициента мощности выпрямителя;

3 Сформулируйте требования, которым должна удовлетворять система импульсно – фазового управления (СИФУ) выпрямителя.

Тема 2. Неуправляемые однофазные выпрямители – одноконтурный выпрямитель, двухполупериодный выпрямитель с нулевым выводом вторичной обмотки трансформатора и однофазный мостовой выпрямитель.

Литература [1], стр.21-25, 26-38.

Методические указания.

Преобразование переменного напряжения в постоянное напряжение, или другими словами выпрямление, осуществляется с помощью полупроводниковых выпрямителей. Изучение этого процесса лучше всего начинать с рассмотрения работы самой простой схемы выпрямления - однофазного одноконтурного выпрямителя. Кроме устройства и принципа работы рассматриваемых схем выпрямления необходимо внимательно изучить методику вывода основных расчетных соотношений для рассматриваемых схем выпрямления и для закрепления знаний самостоятельно повторить эти выводы.

Вопросы для самоконтроля.

Для каждой из вышеперечисленных схем выпрямления:

- 1 Сформулируйте принцип работы схемы выпрямления.
- 2 Укажите во сколько раз действующее значение напряжения, подаваемого на вход выпрямителя, должно быть больше среднего значения напряжения нагрузки?
- 3 Укажите во сколько раз расчетная мощность вторичной обмотки трансформатора больше мощности нагрузки?
- 4 Укажите во сколько раз расчетная мощность первичной обмотки трансформатора больше мощности нагрузки?
- 5 Укажите во сколько раз расчетная мощность трансформатора больше мощности нагрузки?
- 6 Чему равна частота пульсаций выпрямленного напряжения?
- 7 Чему равен коэффициент пульсаций выпрямленного напряжения?

Тема 3. Управляемые выпрямители - однофазный одноконтурный выпрямитель, однофазный мостовой, трехфазный одноконтурный и трехфазный мостовой.

Литература [1], стр.25-26, 38-48.

Методические указания.

Управляемый выпрямитель выполняется на тиристорах, а сам процесс регулирования величины выходного напряжения осуществляется путем регулирования фазового положения импульса управления по отношению к точке естественного зажигания вентилей, называемого углом регулирования α . Следует обратить внимание на то, что длительность работы тиристора управляемого выпрямителя зависит от характера нагрузки (активная или активно - индуктивная), от схемы выпрямления, а при чисто активной нагрузке - зависит еще и от величины угла регулирования α . При изучении этой темы для каждой рассматриваемой схемы выпрямления старайтесь самостоятельно рисовать временные диаграммы напряжения переменного тока, подаваемого на вход выпрямителя, и кривую напряжения на выходе выпрямителя с учетом, принятого значения угла регулирования и характера нагрузки. Умение правильно нарисовать кривую выпрямленного

напряжения очень важно для понимания работы выпрямителя и, кроме этого, необходимо для решения первой задачи контрольного задания.

Вопросы для самоконтроля.

Для каждой из вышеперечисленных схем выпрямления:

- 1 Сформулируйте принцип работы схемы управляемого выпрямителя. 2
- Укажите требуемый диапазон изменения угла α для регулирования среднего значения напряжения на нагрузке от максимального значения до нуля:
- при чисто активной нагрузке;
- при активно-индуктивном характере нагрузки ($L_d = \infty$). 3.
- Объясните физическую причину различия углов $\alpha_{\text{зап}}$ при активной и активно-индуктивной нагрузке.

Тема 4. Коммутация тока в выпрямительных преобразователях.

Литература [1], стр.68-74.

Методические указания.

Под коммутацией тока в выпрямителях при их работе понимают процесс перехода тока нагрузки с одного вентиля на другой. Этот процесс происходит не мгновенно, а в течение определенного временного интервала, определяемого углом коммутации γ . При изучении этой темы следует установить какие параметры выпрямителя и питающей сети оказывают влияние на величину угла коммутации γ , а также выяснить влияние угла коммутации на внешнюю характеристику выпрямителя и коэффициент мощности его.

Вопросы для самоконтроля:

1. Дайте определение понятию «коммутация».
2. Перечислите параметры, влияющие на величину угла коммутации.
3. На какие характеристики выпрямителя и как влияет коммутация?

Тема 5. Коэффициент мощности и коэффициент полезного действия выпрямителя.

Литература [1], стр.74-77, 81.

Методические указания.

Коэффициент мощности и коэффициент полезного действия (КПД) являются важными энергетическими показателями выпрямителя. При расчете КПД необходимо установить на каких элементах схемы выделяются потери мощности и расчетные соотношения, по которым следует рассчитывать эти потери. Величина коэффициента мощности выпрямителя зависит от величины фазового сдвига первой гармоники потребляемого от питающей сети тока по отношению к напряжению фазы питающей сети, а также от искажения формы этого тока. При изучении этой темы необходимо обратить внимание на зависимости составляющих потерь мощности от величины тока нагрузки и на зависимость коэффициента мощности от величины угла регулирования и угла коммутации.

Вопросы для самоконтроля:

- 1 Дайте определение понятию «коэффициент мощности» и напишите формулу для расчета коэффициента мощности управляемого выпрямителя.
- 2 Укажите, как следует рассчитывать коэффициент полезного действия выпрямителя.
- 3 Как рассчитать потери мощности на элементах схемы выпрямителя, укажите формулы для их расчета?

Тема 6. Регулировочная и внешняя характеристики управляемых выпрямителей.
Литература [1], стр.77-81.

Методические указания.

Регулировочная характеристика управляемого выпрямителя представляет собой зависимость среднего значения выпрямленного напряжения от величины угла регулирования, т.е. $U_d=f(\alpha)$ при постоянном значении тока нагрузки (I_d), внешняя характеристика – это зависимость $U_d=f(I_d)$ при постоянном значении угла регулирования. При изучении этой темы необходимо обратить внимание на формулы, по которым рассчитывают эти характеристики, а также на влияние характера нагрузки (активная или активно – индуктивная) на вид регулировочных и внешних характеристик управляемого выпрямителя.

Вопросы для самоконтроля:

- 1 Дайте определение понятию «внешняя характеристика».
- 2 Перечислите виды падения напряжения на элементах схемы выпрямителя и укажите формулы для их расчета.

Тема 7. Сглаживающие фильтры.
Литература [1], стр.89-94.

Методические указания.

Дискретный характер работы полупроводниковых вентилях выпрямителя (диодов и тиристоров) обуславливает пульсирующий характер как напряжения, так и тока нагрузки, поэтому напряжение и ток нагрузки кроме полезной составляющей (постоянной составляющей), содержат в своем составе и нежелательные переменные составляющие. Для подавления этих переменных составляющих напряжения и тока нагрузки применяют сглаживающие фильтры. При изучении этой темы необходимо обратить внимание как на основные схемы сглаживающих фильтров, так и на методики расчета и выбора элементов этих фильтров.

Вопросы для самоконтроля:

- 1 Укажите для какой цели применяют сглаживающие фильтры на выходе выпрямителей.
- 2 Перечислите основные схемы сглаживающих фильтров.
- 3 Укажите расчетные соотношения, по которым следует рассчитать параметры:
 - конденсатора для емкостного фильтра;
 - дросселя для индуктивного фильтра;
 - конденсатора и дросселя для индуктивно-емкостного фильтра;
- 4 Какую проверку следует выполнить после выбора элементов фильтра.

Раздел 3. Зависимые инверторы.

Принцип обратимости полупроводниковых преобразователей с естественной коммутацией вентилях.

Условия перевода управляемого выпрямителя в режим инвертирования.

Внешняя и регулировочная характеристики зависимого инвертора. Коэффициент мощности и коэффициент полезного действия зависимого инвертора.

Литература [1], стр.81-89.

Методические указания.

Инвертор – это полупроводниковый преобразователь, предназначенный для преобразования электрической энергии постоянного тока в электрическую энергию переменного тока. Выход зависимого инвертора подключен к сети переменного тока, в которой кроме нагрузки имеются и генераторы электрической энергии переменного тока, поэтому напряжение на выходе зависимого инвертора имеет такую же частоту и величину, как и напряжение сети переменного тока, к которой подключен зависимый инвертор. Любой управляемый выпрямитель является обратимым преобразователем, т.е. может передавать электрическую энергию как из сети переменного тока в цепь постоянного тока (выпрямительный режим), так и наоборот, из цепи постоянного тока в сеть переменного тока (инверторный режим). Следует обратить внимание на условия перевода такого преобразователя из выпрямительного режима работы в инверторный режим работы и также на отличия в форме записи и вида внешних характеристик выпрямительного и инверторного режимов, обратив внимание на наличие зоны ограничения внешней характеристики зависимого инвертора.

Вопросы для самоконтроля:

- 1 Дайте определение понятию «зависимый инвертор».
- 2 Перечислите условия перевода управляемого выпрямителя в режим зависимого инвертирования.
- 3 Укажите способы регулирования мощности, отдаваемой зависимым инвертором в сеть переменного тока.
- 4 Дайте определению понятию «ограничительная характеристика».
5. Укажите отличие в формуле расчета коэффициента мощности управляемого выпрямителя и зависимого инвертора.
6. Укажите отличие в формуле расчета коэффициента полезного действия управляемого выпрямителя и зависимого инвертора.

Раздел 3. Активные выпрямители.

Устройство, принцип работы активного выпрямителя напряжения, основные характеристики.

Литература [1], стр.115-125.

Методические указания.

Активные выпрямители выполняются на полностью управляемых полупроводниковых вентилях. Их управления практически подобно управлению инверторов напряжения с широтно- импульсной модуляцией выходного напряжения, но имеются и отличия. При изучении этого раздела необходимо установить каким образом можно регулировать фазовый сдвиг тока, потребляемого выпрямителем из сети переменного тока по отношению к напряжению этой сети, а также пределы регулирования выходного напряжения активного выпрямителя. Обратим внимание на то, что активные выпрямители бывают двух типов- активные выпрямители тока и активные выпрямители напряжения. Необходимо установить различие в схемах и характеристиках этих выпрямителей.

Вопросы для самоконтроля:

- 1 Дайте определения понятию «активный выпрямитель».
- 2 Объясните различия между активным выпрямителем тока и напряжения.
- 3 Поясните, как следует регулировать величину выходного напряжения активного выпрямителя?

4 Поясните, почему форма кривой тока, потребляемого выпрямителем близка к синусоидальной форме?

Раздел 4. Независимые (автономные) инверторы

Тема 1. Инверторы напряжения.

Литература [2], стр.4-33, стр.45-63.

Методические указания.

Независимые (автономные) инверторы напряжения работают на сеть переменного тока, в которой имеется только нагрузка, поэтому параметры напряжения выходной сети инвертора напряжения определяются только свойствами самого инвертора. Изучение этой темы следует начать с изучения наиболее простых схем – однофазного одноплечевого, однофазного с выводом нулевой точки первичной обмотки трансформатора, однофазных полумостовой и мостовой схем. Необходимо установить последовательность работы транзисторов, длительность включенного состояния транзисторов и форму напряжения на нагрузке. Также необходимо изучить способы регулирования величины выходного напряжения и его гармонический состав.

Далее следует изучить устройство и принцип работы трехфазного инвертора напряжения и вывод выражения для определения действующего значения выходного напряжения. Обратим внимание на то, что трехфазные инверторы напряжения находят самое широкое применение в регулируемых электроприводах переменного тока, поэтому изучение этой темы очень важно для успешного освоения курса «Электрический привод».

Вопросы для самоконтроля:

1. Поясните принцип работы однофазных инверторов напряжения (одноплечевого, с выводом нулевой точки первичной обмотки трансформатора, полумостового и мостового типов).
2. Перечислите способы регулирования величины выходного напряжения инвертора напряжения.
3. Как определить гармонический состав выходного напряжения инвертора при реализации широтного способа управления?
4. Как рассчитать загрузку транзисторов по току и напряжению?
5. Нарисуйте схему трехфазного инвертора напряжения и временные диаграммы напряжений управления и выходных напряжений трехфазного инвертора напряжения.

Тема 2. Методы и схемы улучшения формы кривой выходного напряжения инвертора. Вывод основных расчетных соотношений. Характеристики независимых инверторов.

Литература [2], стр.33-38, стр.72-74.

Методические указания.

Выходное напряжение инвертора кроме основной гармоники (полезной составляющей) содержит высшие гармоники, которые существенно ухудшают форму кривой напряжения. Необходимо изучить основные способы улучшения формы кривой выходного напряжения инвертора, приближения этой формы к синусоидальной. Важно также изучить характеристики инверторов и расчетные соотношения, по которым следует рассчитывать загрузку вентиля по току и напряжению.

Вопросы для самоконтроля:

1. Что такое спектр выходного напряжения?
2. Перечислите три основных способа улучшения формы кривой выходного напряжения инверторов напряжения и дайте пояснение сути этих способов.

3 От чего зависит гармонический состав выходного напряжения при реализации широтно- импульсного способа регулирования?

4 В каком соотношении находятся амплитуды первой и высшей гармоники выходного напряжения инвертора при реализации широтно- импульсного способа регулирования?

5 От чего и как зависит величина высшей гармоники выходного напряжения инвертора с синусоидальной ШИМ?

6. Перечислите основные характеристики инверторов напряжения.

7. Покажите зависимости токовой загрузки диодов и транзисторов от коэффициента мощности нагрузки.

Тема 3. Инверторы тока.

Однофазные инверторы тока параллельного, последовательного и параллельно-последовательного типа. Вывод выражений внешней характеристики каждой схемы инвертора тока. Влияния параметров инвертора на устойчивость работы схемы.

Литература [2], стр.74-95.

Методические указания.

По времени инверторы тока были разработаны и исследованы значительно раньше, чем инверторы напряжения. Это объясняется в первую очередь тем, что инверторы тока выполняются на не полностью управляемых вентилях (тиристорах), а достаточно сильноточные и высоковольтные тиристоры были разработаны и освоены промышленностью значительно раньше, чем транзисторы на большие токи и напряжения. Изучение этой темы начинается с изучения однофазного инвертора тока параллельного типа. Далее следует изучить однофазный инвертор тока последовательного типа, инвертор тока последовательно-параллельного типа. Отметим, что мгновенное значение входного тока в инверторах тока постоянно. Эти и объясняется название «инвертор тока».

Необходимо изучить устройство, принцип работы и характеристики вышеперечисленных схем инверторов тока.

Особый класс инверторов занимают резонансные инверторы. Любой инвертор тока может быть переведен в резонансный режим работы, если параметры его реактивных элементов (индуктивности дросселей и емкости конденсаторов) подобрать таким образом, чтобы частота собственных колебаний L-C контура инвертора совпала бы с частотой переключения тиристоров. Резонансный инвертор нельзя относить к классу инверторов тока поскольку мгновенное значение входного тока инвертора носит пульсирующий характер. Необходимо изучить свойства этого режима работы инвертора, достоинства и недостатки его.

Вопросы для самоконтроля:

1. Дайте пояснения принципу работы инвертора тока параллельного типа - как происходит включение тиристоров и их выключение? 2. Дайте пояснения принципу работы инвертора тока последовательного типа - как происходит включение тиристоров и их выключение?

3. В чем заключается отличие в схемах инверторов последовательного и параллельного типа?

4. При каком значении проводимости нагрузки (большом или малом) происходит опрокидывание инвертора параллельного типа?

5. При каком значении проводимости нагрузки (большом или малом) происходит опрокидывание инвертора последовательного типа?

6. Поясните в чем заключается различие выходных характеристик инверторов тока параллельного и последовательного типа?

7. Укажите достоинства последовательно-параллельного инвертора тока по сравнению с инверторами тока параллельного и последовательного типа.

8. Какие условия необходимо выполнить для перевода инвертора в резонансный режим?

9. Сформулируйте достоинства резонансного режима работы инвертора по сравнению с режимом инвертирования тока.

Тема 4. Пример расчета однофазного инвертора напряжения с выходным фильтром.

Литература [2], стр.38-47.

Методические указания.

Эта тема очень важна для освоения практических навыков расчета инверторов напряжения. Выполнение второй задачи контрольного задания по сути базируется на содержании этой темы.

При расчете любой схемы инвертора с выходным трансформатором необходимо:

- рассчитать требуемую мощность трансформатора;
- выполнить расчет самого трансформатора;
- рассчитать загрузку транзисторов и диодов по току и напряжению и выбрать эти вентили;
- рассчитать параметры выходного фильтра и выбрать дроссель и конденсаторы для этого фильтра.

Вопросы для самоконтроля:

1. Перечислите основные этапы методики расчета выходного фильтра инвертора.
2. Для какой гармоники выходного напряжения инвертора следует определять коэффициент режекции?
3. Как определить требуемые значения индуктивности дросселя и емкости конденсатора выходного фильтра?

Раздел 5. Тиристорные регуляторы переменного напряжения (ТРН).

Тема 1. Устройство, принцип работы, основные расчетные соотношения и характеристики тиристорных регуляторов напряжения (ТРН). Работа однофазного ТРН на активную и активно - индуктивную нагрузку.

Регулировочная и внешняя характеристики ТРН.
Коэффициент мощности ТРН.

Литература [1], стр.133-142.

Методические указания.

ТРН применяются для регулирования величины напряжения переменного тока при сохранении частоты этого напряжения. Система импульсно – фазового управления этих регуляторов точно такая же, как и у управляемых выпрямителей. Регулирование величины выходного напряжения ТРН осуществляется путем изменения фазового положения импульса управления по отношению к точке естественного зажигания вентилей. Форма кривой выходного напряжения ТРН искажена и существенно отличается от синусоидальной, а ток потребляемый ТРН от питающей сети имеет фазовый сдвиг. Перечисленные выше факторы оказывают прямое влияние на величину коэффициента мощности ТРН.

Необходимо изучить устройство, принцип работы ТРН, регулировочные и внешние характеристики, а также зависимость коэффициента мощности регулятора от диапазона регулирования величины выходного напряжения.

Вопросы для самоконтроля:

- 1 Приведите выражение регулировочной характеристики тиристорного регулятора

переменного напряжения при чисто активной нагрузке.

2 Приведите выражение внешней характеристики тиристорного регулятора переменного напряжения.

3 Укажите в чем отличия в работе тиристорного регулятора переменного напряжения при чисто активной и активно-индуктивной нагрузке.

Раздел 6. Преобразователи частоты.

Преобразователи частоты (ПЧ) со звеном постоянного тока. Преобразователи частоты с непосредственной связью с естественной и искусственной коммутацией. Вывод основных расчетных соотношений. Характеристики.

Литература [2], стр.105-115.

Методические указания.

Преобразователи частоты подразделяются на два основных класса - преобразователи частоты со звеном постоянного тока и преобразователи частоты без звена постоянного тока. Необходимо изучить устройство, принцип работы этих преобразователей частоты, установить в чем заключаются основные отличия как устройства, так и характеристик, включая и возможный диапазон регулирования частоты выходного напряжения.

Вопросы для самоконтроля:

1. Укажите последовательность преобразования электрической энергии в преобразователе частоты со звеном постоянного тока.

2. Укажите последовательность преобразования электрической энергии в преобразователе частоты без звена постоянного тока.

3. Перечислите достоинства и недостатки преобразователя частоты со звеном постоянного тока.

4. Перечислите достоинства и недостатки преобразователя частоты без звена постоянного тока.

Разделы 7 и 8. Преобразователи постоянного напряжения в постоянное напряжение (ППН) и методические указания по проектированию ВИП.

Тема 1. Однотактные бестрансформаторные преобразователи постоянного напряжения в постоянное напряжение последовательного и параллельного типа.

Литература [3], стр.4-16.

Методические указания.

Преобразователи постоянного напряжения в постоянное напряжение находят широкое применение во вторичных источниках питания как промышленного, так и бытового назначения, поэтому изучение этой темы очень важно для успешного освоения курса «Проектирование вторичных источников питания» и выполнения курсового проекта по этому курсу. Изучение этой темы следует начать с изучения наиболее простых схем ППН – бестрансформаторных схем с последовательным и параллельным включением управляемого ключа- транзистора. Следует изучить устройство, принцип работы, характеристики и расчетные соотношения, по которым следует рассчитывать загрузку транзистора по току и напряжению.

Вопросы для самоконтроля:

1. Нарисуйте схему бестрансформаторного преобразователя постоянного напряжения последовательного типа.

2. Нарисуйте схему бестрансформаторного преобразователя постоянного напряжения параллельного типа.

3. Укажите диапазон регулирования выходного напряжения (по отношению к входному напряжению) преобразователей постоянного напряжения последовательного и параллельного типа.

Тема 2. Трансформаторные одноктактные и двухтактные преобразователи постоянного напряжения в постоянное напряжение.

Литература [3], 56-58, 75-80.

Методические указания.

Трансформаторные преобразователи постоянного напряжения в постоянное напряжение могут быть выполнены по одноктактной или по двухтактной схемам. Введение трансформаторной связи между цепью источника питания и нагрузкой позволяет согласовать напряжения источника питания и напряжения нагрузки. С целью уменьшения размеров и массы трансформатора частота переключения транзисторов выбирается достаточно высокой - десятки, сотни килогерц. Необходимо изучить устройство, принцип работы, характеристики и расчетные соотношения, по которым следует рассчитывать загрузку транзисторов по току и напряжению, установить целесообразные области применения их (с учетом величины мощности нагрузки).

Вопросы для самоконтроля:

1. Перечислите различия в схемах и принципе работы прямоходового и обратного трансформаторных одноктактных преобразователей постоянного напряжения.

2. Нарисуйте схему двухтактного преобразователя постоянного напряжения в постоянное напряжение, выполненного по полномостовой схеме.

3. Укажите области применения одноктактных и двухтактных преобразователей постоянного напряжения в постоянное напряжение.

Раздел 9. Устройства управления и защиты ППЭЭ.

Основные требования к устройствам управления. Одноканальные, многоканальные схемы управления.

Защита ППЭЭ от сверхтоков и перенапряжений: быстродействие, селективность защиты.

Литература [1], стр.147-150, 161-167.

Методические указания.

Устройства управления и защиты входят в состав каждого управляемого полупроводникового преобразователя. От их работы во многом зависит надежность и безотказность в работе этих преобразователей. Для управления выпрямителей применяется система импульсно – фазового управления (СИФУ). В СИФУ регулирование фазового положения импульсов управления, подаваемых на тиристоры силовой схемы выпрямителя, осуществляется путем изменения величины напряжения управления.

Необходимо изучить устройство, принцип работы СИФУ для однофазных и трехфазных схем выпрямления, установить влияние формы кривой опорного напряжения на вид регулировочной характеристики СИФУ.

Полупроводниковые преобразователи необходимо защищать как от сверхтоков, так и от перенапряжений. Необходимо изучить элементы и устройства защиты в целом, установить их целесообразные области применения.

Вопросы для самоконтроля:

1. Какие функции выполняет СИФУ в управляемых выпрямителях?
2. Укажите какие две формы кривой опорного напряжения находят применение в СИФУ и как форма кривой опорного напряжения оказывает влияние на регулировочную характеристику выпрямителя в целом.
3. Укажите причины появления сверхтоков и перенапряжений в схемах выпрямления.
4. Укажите возможные способы защиты полупроводникового преобразователя от сверхтоков.
5. Укажите возможные способы защиты полупроводникового преобразователя от перенапряжений.
6. Сравните по быстрдействию плавкие предохранители, самовосстанавливающиеся предохранители и электронную защиту.

Методические указания для обучающихся по участию в семинарах (не предусмотрено учебным планом по данной дисциплине)

Методические указания для обучающихся по прохождению практических занятий приведены в «Методических указаниях по изучению дисциплины «Силовая электроника», размещенных на электронном ресурсе каф. №32, а также в учебных пособиях [1], [2], [3].

Практическое занятие является одной из основных форм организации учебного процесса, заключающаяся в выполнении обучающимися под руководством преподавателя комплекса учебных заданий с целью усвоения научно-теоретических основ учебной дисциплины, приобретения умений и навыков, опыта творческой деятельности.

Целью практического занятия для обучающегося является привитие обучающемуся умений и навыков практической деятельности по изучаемой дисциплине.

Планируемые результаты при освоении обучающимся практических занятий:

- закрепление, углубление, расширение и детализация знаний при решении конкретных задач;
- развитие познавательных способностей, самостоятельности мышления, творческой активности;
- овладение новыми методами и методиками изучения конкретной учебной дисциплины;
- выработка способности логического осмысления полученных знаний для выполнения заданий;
- обеспечение рационального сочетания коллективной и индивидуальной форм обучения.

Функции практических занятий:

- познавательная;
- развивающая;
- воспитательная.

По характеру выполняемых обучающимся заданий по практическим занятиям подразделяются на:

- ознакомительные, проводимые с целью закрепления и конкретизации изученного теоретического материала;

- аналитические, ставящие своей целью получение новой информации на основе формализованных методов;
- творческие, связанные с получением новой информации путем самостоятельно выбранных подходов к решению задач.

Формы организации практических занятий определяются в соответствии со специфическими особенностями учебной дисциплины и целями обучения. Они могут проводиться:

- в интерактивной форме (решение ситуационных задач, занятия по моделированию реальных условий, деловые игры, игровое проектирование, имитационные занятия, выездные занятия в организации (предприятия), деловая учебная игра, ролевая игра, психологический тренинг, кейс, мозговой штурм, групповые дискуссии);
- в не интерактивной форме (выполнение упражнений, решение типовых задач, решение ситуационных задач и другое).

Методика проведения практического занятия может быть различной, при этом важно достижение общей цели дисциплины.

Требования к проведению практических занятий:

1. Все студенты должны быть ознакомлены с темами практических занятий, приведенными в таблице 4.

2. Практические занятия целесообразно проводить по темам, предварительно изученными студентами на лекциях или самостоятельно.

3. В начале каждого практического занятия необходимо провести тестовый контроль подготовки студентов к этому занятию, воспользовавшись вопросами тестового контроля, приведенными в таблице 19.

4. С целью повышения эффективности практических занятий необходимо изучение каждой темы сопровождать решением задач. Темы практических занятий и номера заданий приведены в таблице 20.

5. При проведении практических занятий необходимо обращать внимание студентов на методики расчета полупроводниковых преобразователей, а при решении студентами практических задач необходимо акцентировать внимание на ошибки, допускаемые студентами, предлагать им найти более оптимальный путь решения задачи и т.п.

Требования к проведению практических занятий:

1. Все студенты должны быть ознакомлены с темами практических занятий, приведенными в таблице 4.

2. Практические занятия целесообразно проводить по темам, предварительно изученными студентами на лекциях или самостоятельно.

3. В начале каждого практического занятия необходимо провести тестовый контроль подготовки студентов к этому занятию, воспользовавшись вопросами тестового контроля, приведенными в таблице 19.

4. С целью повышения эффективности практических занятий необходимо изучение каждой темы сопровождать решением задач. Темы практических занятий и номера заданий приведены в таблице 20.

5. При проведении практических занятий необходимо обращать внимание студентов на методики расчета электрических приводов, а при решении студентами практических задач необходимо акцентировать внимание на ошибки, допускаемые студентами, предлагать им найти более оптимальный путь решения задачи и т.п.

Методические указания для обучающихся по прохождению лабораторных работ приведены в «Методических указаниях по изучению дисциплины «Силовая электроника», размещенных на электронном ресурсе каф. №32, а также в учебных пособиях в учебно-методических пособиях [4], [5], [6]

В ходе выполнения лабораторных работ обучающийся должен углубить и закрепить знания, практические навыки, овладеть современной методикой и техникой эксперимента в соответствии с квалификационной характеристикой обучающегося. Выполнение лабораторных работ состоит из экспериментально-практической, расчетно-аналитической частей и контрольных мероприятий.

Выполнение лабораторных работ обучающимся является неотъемлемой частью изучения дисциплины, определяемой учебным планом и относится к средствам, обеспечивающим решение следующих основных задач у обучающегося:

- приобретение навыков исследования процессов, явлений и объектов, изучаемых в рамках данной дисциплины;
- закрепление, развитие и детализация теоретических знаний, полученных на лекциях;
- получение новой информации по изучаемой дисциплине;
- приобретение навыков самостоятельной работы с лабораторным оборудованием и приборами.

Задание и требования к проведению лабораторных работ приведены учебно-методических пособиях [4], [5], [6].

Структура и форма отчета о лабораторной работе приведены учебно-методических пособиях [4], [5], [6].

Требования к оформлению отчета о лабораторной работе приведены учебно-методических пособиях [4], [5], [6].

Методические указания для обучающихся по прохождению курсового проектирования/ работы приведены в «Методических указаниях по изучению дисциплины «Силовая электроника», размещенных на электронном ресурсе каф. 32, а также в учебных пособиях [1], [2], [3].

Курсовой проект/ работа проводится с целью формирования у обучающихся опыта комплексного решения конкретных задач профессиональной деятельности.

Курсовой проект/ работа позволяет обучающемуся:

- систематизировать и закрепить полученные теоретические знания и практические умения по профессиональным учебным дисциплинам и модулям в соответствии с требованиями к уровню подготовки, установленными программой

учебной дисциплины, программой подготовки специалиста соответствующего уровня, квалификации;

- применить полученные знания, умения и практический опыт при решении комплексных задач, в соответствии с основными видами профессиональной деятельности по направлению/ специальности/ программе;
- углубить теоретические знания в соответствии с заданной темой;
- сформировать умения применять теоретические знания при решении нестандартных задач;
- приобрести опыт аналитической, расчётной, конструкторской работы и сформировать соответствующие умения;
- сформировать умения работы со специальной литературой, справочной, нормативной и правовой документацией и иными информационными источниками;
- сформировать умения формулировать логически обоснованные выводы, предложения и рекомендации по результатам выполнения работы;
- развить профессиональную письменную и устную речь обучающегося;
- развить системное мышление, творческую инициативу, самостоятельность, организованность и ответственность за принимаемые решения;
- сформировать навыки планомерной регулярной работы над решением поставленных задач.

Структура пояснительной записки курсовой работы / проекта

Пояснительная записка курсовой работы должна включать в себя следующие разделы:

- Цель проекта;
- Исходные данные на проектирование;
- Расчет силовой части преобразователя;
- Выбор элементов силовой части преобразователя;
- Расчет потерь мощности и КПД;
- Тепловой расчет и выбор охладителя;
- Разработка схемы управления и защиты;
- Разработка математической модели проектируемого преобразователя;
- Результаты исследования динамических характеристик спроектированного преобразователя;
- Заключение.

Требования к оформлению пояснительной записки курсовой работы / проекта

Пояснительная записка оформляется в соответствии с требованиями стандартов ГУАП к оформлению пояснительных записок курсовых работ.

Текст записки должен быть напечатан на листах формата А4 и сброшюрован.

Методические указания для обучающихся по прохождению самостоятельной работы приведены в «Методических указаниях по изучению дисциплины «Силовая электроника», размещенных на электронном ресурсе каф. №32, а также в учебных пособиях [1], [2], [3].

В ходе выполнения самостоятельной работы, обучающийся выполняет работу по заданию и при методическом руководстве преподавателя, но без его непосредственного участия.

Для обучающихся по заочной форме обучения, самостоятельная работа может включать в себя контрольную работу.

В процессе выполнения самостоятельной работы, у обучающегося формируется целесообразное планирование рабочего времени, которое позволяет им развивать умения и навыки в усвоении и систематизации приобретаемых знаний, обеспечивает высокий уровень успеваемости в период обучения, помогает получить навыки повышения профессионального уровня.

Методическими материалами, направляющими самостоятельную работу обучающихся являются:

- учебно-методический материал по дисциплине, приведенный в [1], [2], [3];
- перечень практических задач, приведенные в табл.20.

Методические указания по самостоятельному изучению теоретической составляющей дисциплины приведены выше в п. «Структура предоставления лекционного материала и методические указания по самостоятельному изучению дисциплины» раздела 11.

Методические указания для обучающихся по прохождению промежуточной аттестации

Промежуточная аттестация обучающихся предусматривает оценивание промежуточных и окончательных результатов обучения по дисциплине. Она включает в себя:

- экзамен – форма оценки знаний, полученных обучающимся в процессе изучения всей дисциплины или ее части, навыков самостоятельной работы, способности применять их для решения практических задач. Экзамен, как правило, проводится в период экзаменационной сессии и завершается аттестационной оценкой «отлично», «хорошо», «удовлетворительно», «неудовлетворительно».

- зачет – это форма оценки знаний, полученных обучающимся в ходе изучения учебной дисциплины в целом или промежуточная (по окончании семестра) оценка знаний обучающимся по отдельным разделам дисциплины с аттестационной оценкой «зачтено» или «не зачтено».

- дифференцированный зачет – это форма оценки знаний, полученных обучающимся при изучении дисциплины, при выполнении курсовых проектов, курсовых работ, научно-исследовательских работ и прохождении практик с аттестационной оценкой «отлично», «хорошо», «удовлетворительно», «неудовлетворительно».

Система оценок при проведении промежуточной аттестации осуществляется в соответствии с требованиями Положений «О текущем контроле успеваемости и промежуточной аттестации студентов ГУАП, обучающихся по программы высшего образования» и «О модульно-рейтинговой системе оценки качества учебной работы студентов в ГУАП».

Лист внесения изменений в рабочую программу дисциплины

Дата внесения изменений и дополнений. Подпись внесшего изменения	Содержание изменений и дополнений	Дата и № протокола заседания кафедры	Подпись зав. кафедрой