

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

доц., к.т.н., доц.

(должность, уч. степень, звание)

О.О. Жаринов

(инициалы, фамилия)

(подпись)

«21» мая 2020 г

РАБОЧАЯ ПРОГРАММА ДИСЦИПЛИНЫ

«Энергетическая электроника»  
(Наименование дисциплины)

Код направления подготовки/ специальности	11.03.04
Наименование направления подготовки/ специальности	Электроника и нанoeлектроника
Наименование направленности	Промышленная электроника
Форма обучения	очная

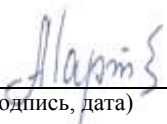
Санкт-Петербург– 2020

Лист согласования рабочей программы дисциплины

Программу составил (а)

Доц., к.т.н., доц.

(должность, уч. степень, звание)

  
(подпись, дата)

А.А. Мартынов

(инициалы, фамилия)

Программа одобрена на заседании кафедры № 32

«10» апреля 2020 г, протокол № 7

Заведующий кафедрой № 32

д.т.н., проф.

(уч. степень, звание)

  
«10» апреля 2020 г

(подпись, дата)

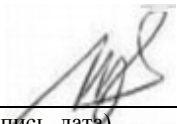
А.Л. Ронжин

(инициалы, фамилия)

Ответственный за ОП ВО 11.03.04(06)

доц., к.т.н., доц.

(должность, уч. степень, звание)

  
(подпись, дата)

О.О. Жаринов

(инициалы, фамилия)

Заместитель директора института №4 по методической работе

доц., к.т.н., доц.

(должность, уч. степень, звание)

  
(подпись, дата)

А.А. Ключарев

(инициалы, фамилия)

## Аннотация

Дисциплина «Энергетическая электроника» входит в образовательную программу высшего образования по направлению подготовки/ специальности 11.03.04 «Электроника и наноэлектроника» направленности «Промышленная электроника». Дисциплина реализуется кафедрой «№32».

Дисциплина нацелена на формирование у выпускника следующих компетенций:

ОПК-2 «Способен самостоятельно проводить экспериментальные исследования и использовать основные приемы обработки и представления полученных данных»

Содержание дисциплины охватывает круг вопросов, связанных с изучением:

- устройства, принципа работы и характеристик полупроводниковых приборов энергетической электроники;
- устройства, принципа работы и характеристик полупроводниковых преобразователей энергетической энергии;
- устройств защиты устройств энергетической электроники от сверхтоков и перенапряжений;
- проблемы электромагнитной совместимости устройств энергетической электроники.

В области воспитания личности целью подготовки по данной дисциплине является формирование основ общекультурных и профессиональных компетенций для приобретения качеств, необходимых специалисту по энергетической 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, самостоятельная работа студента, консультации.*

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

Общая трудоемкость освоения дисциплины составляет 4 зачетных единицы, 144 часа.

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 энергетической 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 энергетической электроники. Уровень освоения дисциплины должен позволять студентам проводить типовые расчеты основных параметров и характеристик устройств и систем энергетической электроники, проводить элементарные лабораторные испытания устройств и систем энергетической электроники.

1.2. Дисциплина входит в состав обязательной части образовательной программы высшего образования (далее – ОП ВО).

1.3. Перечень планируемых результатов обучения по дисциплине, соотнесенных с планируемыми результатами освоения ОП ВО.

В результате изучения дисциплины обучающийся должен обладать следующими компетенциями или их частями. Компетенции и индикаторы их достижения приведены в таблице 1.

Таблица 1 – Перечень компетенций и индикаторов их достижения

Категория (группа) компетенции	Код и наименование компетенции	Код и наименование индикатора достижения компетенции
Общепрофессиональные компетенции	ОПК-2 Способен самостоятельно проводить экспериментальные исследования и использовать основные приемы обработки и представления полученных данных	ОПК-2.3.1 знает основные методы и средства проведения экспериментальных исследований, системы стандартизации и сертификации. ОПК-2.У.1 умеет выбирать способы и средства измерений и проводить экспериментальные исследования. ОПК-2.У.3 умеет рассматривать возможные варианты решения задачи, оценивая их достоинства и недостатки. ОПК-2.У.4 умеет формулировать в рамках поставленной цели проекта совокупность взаимосвязанных задач, обеспечивающих ее достижение ОПК-2.У.5 умеет определять ожидаемые результаты решения выделенных задач. ОПК-2.В.1 владеет способами обработки и представления полученных данных и оценки погрешности результатов измерений.

## 2. Место дисциплины в структуре ОП

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

- Физические основы электроники;
- Электротехника.

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

- При выполнении выпускной квалификационной работы.

### 3. Объем и трудоемкость дисциплины

Данные об общем объеме дисциплины, трудоемкости отдельных видов учебной работы по дисциплине (и распределение этой трудоемкости по семестрам) представлены в таблице 2.

Таблица 2 – Объем и трудоемкость дисциплины

Вид учебной работы	Всего	Трудоемкость по семестрам
		№8
1	2	3
<b>Общая трудоемкость дисциплины, ЗЕ/ (час)</b>	4/ 144	4/ 144
<b>Аудиторные занятия, всего час.</b>	40	40
в том числе:		
лекции (Л), (час)	20	20
практические/семинарские занятия (ПЗ), (час)		
лабораторные работы (ЛР), (час)	20	20
курсовой проект (работа) (КП, КР), (час)		
экзамен, (час)	45	45
<b>Самостоятельная работа, всего (час)</b>	59	59
<b>Вид промежуточной аттестации:</b> зачет, дифф. зачет, экзамен (Зачет, Дифф. зач, Экз.**)	Экз.	Экз.

Примечание: \*\* кандидатский экзамен

### 4. Содержание дисциплины

4.1. Распределение трудоемкости дисциплины по разделам и видам занятий.

Разделы, темы дисциплины и их трудоемкость приведены в таблице 3.

Таблица 3 – Разделы, темы дисциплины, их трудоемкость

Разделы, темы дисциплины	Лекции (час)	ПЗ (СЗ) (час)	ЛР (час)	КП (час)	СРС (час)
Семестр 8					
Раздел 1. Выпрямители	6		6		10
Тема 1.1.Классификация выпрямителей и основные параметры и характеристики выпрямителей.					
Тема 1.2. Многофазные выпрямители					
Тема 1.3. Коммутация тока в выпрямителях и влияние ее на характеристики выпрямителя					
Тема 1.4. Искажение формы тока, потребляемого выпрямителем из питающей сети					
Тема 1.5. Система импульсно-фазового управления					

Тема 1.6. Энергетические показатели выпрямителя.					
Раздел 2. Зависимые инверторы	1				6
Раздел 3. Автономные инверторы	6		6		17
Тема 3.1. Однофазные инверторы тока					
Тема 3.2. Однофазные инверторы напряжения					
Тема 3.3. Трехфазные инверторы напряжения					
Раздел 4. Регуляторы напряжения переменного тока	2				5
Раздел 5. Преобразователи частоты	2		3		8
Тема 5.1. Преобразователи частоты со звеном постоянного тока					
Тема 5.2. Преобразователи частоты без звена постоянного тока					
Раздел 6. Преобразователи постоянного тока в постоянный ток (ППТ)	3		5		13
Тема 6.1. ППТ с последовательным ключевым элементом					
Тема 6.2. ППТ с параллельным ключевым элементом					
Тема 6.3. Однотактный прямоходовой конвертор					
Итого в семестре:	20	0	20	0	59
Итого	20	0	20	0	59

#### 4.2. Содержание разделов и тем лекционных занятий.

Содержание разделов и тем лекционных занятий приведено в таблице 4.

Таблица 4 – Содержание разделов и тем лекционного цикла

Номер раздела	Название и содержание разделов и тем лекционных занятий
Раздел 1.	Выпрямители
Тема 1.1	Классификация выпрямителей и основные параметры и характеристики выпрямителей.

Тема 1.2	Многофазные выпрямители: схемы, характеристики, достоинства и недостатки многофазных схем выпрямления. Внешние и регулировочные характеристики. Передаточная функция управляемого выпрямителя.
Тема 1.3	Коммутация тока в выпрямителях и влияние ее на характеристики выпрямителя
Тема 1.4	Искажение формы тока, потребляемого выпрямителем из питающей сети. Коэффициент искажения формы тока, потребляемого выпрямителем из питающей сети
Тема 1.5	Система импульсно-фазового управления (СИФУ): устройство, принцип работы, регулировочные характеристики СИФУ при линейной и косинусоидальной форме опорного сигнала. Передаточная функция СИФУ.
Тема 1.6	Энергетические показатели выпрямителей. Влияние фазности выпрямителя на энергетические показатели управляемого выпрямителя. Энергетические показатели активного выпрямителя.
Раздел 2	Зависимые инверторы. Устройство, принцип работы, внешние характеристики зависимого инвертора, выполненного на однооперационных тиристорах
Раздел 3	Автономные инверторы
Тема 3.1	Устройства, принцип работы, характеристики однофазных инверторов тока параллельного и последовательного типа
Тема 3.2	Устройства, принцип работы, характеристики однофазного инвертора напряжения
Тема 3.3	Устройства, принцип работы, характеристики трехфазного инвертора напряжения с широтно-импульсным регулированием выходного напряжения
Раздел 4	Регуляторы напряжения переменного тока: устройство, принцип работы, характеристики
Раздел 5	Преобразователи частоты
Тема 5.1	Устройство, принцип работы, характеристики преобразователя частоты со звеном постоянного тока
Тема 5.2	Устройство, принцип работы, характеристики преобразователя частоты без звена постоянного тока
Раздел 6	Преобразователи постоянного тока в постоянный ток (ППТ)
Тема 6.1	Устройство, принцип работы, характеристики ППТ с последовательным ключевым элементом
Тема 6.2	Устройство, принцип работы, характеристики ППТ с параллельным ключевым элементом
Тема 6.3	Устройство, принцип работы, характеристики однотактного прямоходового конвертора

#### 4.3. Практические (семинарские) занятия

Темы практических занятий и их трудоемкость приведены в таблице 5.

Таблица 5 – Практические занятия и их трудоемкость

№ п/п	Темы практических занятий	Формы практических занятий	Трудоемкость, (час)	№ раздела дисциплины
Учебным планом не предусмотрено				
Всего				

4.4. Лабораторные занятия

Темы лабораторных занятий и их трудоемкость приведены в таблице 6.

Таблица 6 – Лабораторные занятия и их трудоемкость

№ п/п	Наименование лабораторных работ	Трудоем- кость, (час)	№ разде- ла дисци- плины
Семестр 8			
1	Трехфазный однотактный управляемый выпрямитель	3	1.2
2	Трехфазный мостовой управляемый выпрямитель	3	1.2
3	Однофазный инвертор тока параллельного типа	2	3.1
4	Однофазный инвертор тока последовательного типа	2	3.1
5	Однофазный инвертор напряжения	2	3.2
7	Преобразователь частоты	3	5.1
8	ППТ с последовательным ключевым элементом (ППТ-1)	3	6.1
9	ППТ с параллельным ключевым элементом (ППТ-2)	2	6.2
Всего:		20	

4.5. Курсовое проектирование/ выполнение курсовой работы

Учебным планом не предусмотрено

4.6. Самостоятельная работа обучающихся

Виды самостоятельной работы и ее трудоемкость приведены в таблице 7.

Таблица 7 – Виды самостоятельной работы и ее трудоемкость

Вид самостоятельной работы	Всего, час	Семестр 8, час
1	2	3
Изучение теоретического материала	49	49



дисциплины (ТО)		
Курсовое проектирование (КП, КР)		
Расчетно-графические задания (РГЗ)		
Выполнение реферата (Р)		
Подготовка к текущему контролю успеваемости (ТКУ)	10	10
Домашнее задание (ДЗ)		
Контрольные работы заочников (КРЗ)		
Подготовка к промежуточной аттестации (ПА)		
Всего:	59	59

5. Перечень учебно-методического обеспечения для самостоятельной работы обучающихся по дисциплине (модулю)  
Учебно-методические материалы для самостоятельной работы обучающихся указаны в п.п. 7-11.

6. Перечень печатных и электронных учебных изданий  
Перечень печатных и электронных учебных изданий приведен в таблице 8.  
Таблица 8– Перечень печатных и электронных учебных изданий

Шифр	Библиографическая ссылка / URL адрес	Количество экземпляров в библиотеке (кроме электронных экземпляров)
	1.Мартынов А.А. Силовая электроника. Часть I. Выпрямители и регуляторы переменного напряжения. ГУАП. СПб. 2011. 186с.	70
	2.Мартынов А.А. Силовая электроника. Часть II. Инверторы и преобразователи частоты. ГУАП. СПб.2012. 144с.	70
	3. Мартынов А.А.. Проектирование импульсных полупроводниковых преобразователей постоянного напряжения в постоянное напряжение: учеб. пособие/А.А.Мартынов. СПб.: СПбГУАП, 2011. 216 с.:	70
	4.Мартынов А.А. Силовая электроника: учеб. –метод. Пособие/А.А. Мартынов.-СПб.: ГУАП, 2015.-214с.	70
	5.Мартынов А.А. Основы преобразовательной техники.: Учебно-методическое пособие. Часть I / А.А. Мартынов. СПб.: ГУАП, 2015. 177 с.:	35
	6.Мартынов А.А. Основы преобразовательной техники.: Учебно-методическое пособие. Часть II / А.А. Мартынов. СПб.: ГУАП, 2015. 187 с	35

7. Перечень электронных образовательных ресурсов информационно-телекоммуникационной сети «Интернет»

Перечень электронных образовательных ресурсов информационно-телекоммуникационной сети «Интернет», необходимых для освоения дисциплины приведен в таблице 9.

Таблица 9 – Перечень электронных образовательных ресурсов информационно-телекоммуникационной сети «Интернет»

URL адрес	Наименование
<a href="http://194.226.30/32/book.htm">URL:http://194.226.30/32/book.htm</a>	Библиотека Администрации Президента РФ [Электронный ресурс]
URL:http://imin.urfu.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

8.1. Перечень программного обеспечения, используемого при осуществлении образовательного процесса по дисциплине.

Перечень используемого программного обеспечения представлен в таблице 10.

Таблица 10– Перечень программного обеспечения

№ п/п	Наименование
	Не предусмотрено

8.2. Перечень информационно-справочных систем, используемых при осуществлении образовательного процесса по дисциплине

Перечень используемых информационно-справочных систем представлен в таблице 11.

Таблица 11– Перечень информационно-справочных систем

№ п/п	Наименование
	Не предусмотрено

#### 9. Материально-техническая база

Состав материально-технической базы, необходимой для осуществления образовательного процесса по дисциплине, 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	21-18
5	Специализированная лаборатория	21-19
6	Стенд НТЦ-25	21-19

#### 10. Оценочные средства для проведения промежуточной аттестации

10.1. Состав оценочных средств для проведения промежуточной аттестации обучающихся по дисциплине приведен в таблице 13.

Таблица 13 – Состав оценочных средств для проведения промежуточной аттестации

Вид промежуточной аттестации	Перечень оценочных средств
Экзамен	Список вопросов к экзамену; Задачи; Тесты.

10.2. В качестве критериев оценки уровня сформированности (освоения) компетенций обучающимися применяется 5-балльная шкала оценки сформированности компетенций, которая приведена в таблице 14. В течение семестра может использоваться 100-балльная шкала модульно-рейтинговой системы Университета, правила использования которой, установлены соответствующим локальным нормативным актом ГУАП.

Таблица 14 – Критерии оценки уровня сформированности компетенций

Оценка компетенции	Характеристика сформированных компетенций
5-балльная шкала	
«отлично» «зачтено»	<ul style="list-style-type: none"> <li>– обучающийся глубоко и всесторонне усвоил программный материал;</li> <li>– уверенно, логично, последовательно и грамотно его излагает;</li> <li>– опираясь на знания основной и дополнительной литературы, тесно привязывает усвоенные научные положения с практической деятельностью направления;</li> <li>– умело обосновывает и аргументирует выдвигаемые им идеи;</li> <li>– делает выводы и обобщения;</li> <li>– свободно владеет системой специализированных понятий.</li> </ul>
«хорошо» «зачтено»	<ul style="list-style-type: none"> <li>– обучающийся твердо усвоил программный материал, грамотно и по существу излагает его, опираясь на знания основной литературы;</li> <li>– не допускает существенных неточностей;</li> <li>– увязывает усвоенные знания с практической деятельностью направления;</li> <li>– аргументирует научные положения;</li> <li>– делает выводы и обобщения;</li> <li>– владеет системой специализированных понятий.</li> </ul>
«удовлетворительно» «зачтено»	<ul style="list-style-type: none"> <li>– обучающийся усвоил только основной программный материал, по существу излагает его, опираясь на знания только основной литературы;</li> <li>– допускает несущественные ошибки и неточности;</li> <li>– испытывает затруднения в практическом применении знаний направления;</li> <li>– слабо аргументирует научные положения;</li> <li>– затрудняется в формулировании выводов и обобщений;</li> <li>– частично владеет системой специализированных понятий.</li> </ul>
«неудовлетворительно» «не зачтено»	<ul style="list-style-type: none"> <li>– обучающийся не усвоил значительной части программного материала;</li> <li>– допускает существенные ошибки и неточности при рассмотрении проблем в конкретном направлении;</li> <li>– испытывает трудности в практическом применении знаний;</li> <li>– не может аргументировать научные положения;</li> <li>– не формулирует выводов и обобщений.</li> </ul>

10.3. Типовые контрольные задания или иные материалы.  
Вопросы (задачи) для экзамена представлены в таблице 15.

Таблица 15 – Вопросы (задачи) для экзамена

№ п/п	Перечень вопросов (задач) для экзамена
	<ol style="list-style-type: none"><li data-bbox="379 456 1394 533">1. Однофазный одноконтный выпрямитель: схема, временные диаграммы, принцип работы, вывод расчетных соотношений.</li><li data-bbox="379 568 1474 645">2. Однофазный мостовой выпрямитель: схема, временные диаграммы, принцип работы, вывод расчетных соотношений.</li><li data-bbox="379 680 1388 757">3. Трехфазный одноконтный выпрямитель: схема, временные диаграммы, принцип работы, вывод расчетных соотношений.</li><li data-bbox="379 792 1305 869">4. Особенности работы трансформатора в трехфазном одноконтном выпрямителе.</li><li data-bbox="379 904 1359 981">5. Трехфазный мостовой управляемый выпрямитель: схема, временные диаграммы, вывод основных расчетных соотношений.</li><li data-bbox="379 1016 1315 1093">6. Шестифазный одноконтный выпрямитель: схема, временные диаграммы, вывод основных расчетных соотношений.</li><li data-bbox="379 1128 1477 1205">7. Влияние индуктивности нагрузки на работу управляемого выпрямителя. Пояснить на примере любой схемы выпрямителя.</li><li data-bbox="379 1240 1477 1317">8. Коммутация тока в выпрямителях: влияние на величину выпрямленного напряжения, вывод выражения для угла коммутации .</li><li data-bbox="379 1352 1219 1384">9. Внешняя характеристика управляемого выпрямителя.</li><li data-bbox="379 1420 1315 1451">10. Регулировочная характеристика управляемого выпрямителя.</li><li data-bbox="379 1487 1410 1563">11. Коэффициент пульсаций выпрямленного напряжения, С-фильтр, L-фильтр, L-C фильтр, вывод выражения коэффициента сглаживания.</li><li data-bbox="379 1599 1362 1675">12. Зависимый инвертор: схема, принцип работы, условия перевода управляемого выпрямителя в режим инвертирования.</li><li data-bbox="379 1711 1378 1823">13. Однофазный мостовой инвертор тока параллельного типа: схема, временные диаграммы, принцип работы, вывод основных расчетных соотношений.</li><li data-bbox="379 1859 1369 1971">14. Однофазный мостовой инвертор последовательного типа: схема, временные диаграммы, принцип работы, вывод основных расчетных соотношений.</li><li data-bbox="379 2007 1362 2038">15. Однофазный мостовой инвертор напряжения: схема, временные</li></ol>

	<p>диаграммы, принцип работы, вывод выражений для <math>P_{d1}</math>, <math>P_{d2}</math>, <math>P_d</math>.</p> <p>16 Широтное регулирование выходного напряжения инвертора напряжения; зависимость гармонического состава выходного напряжения от длительности импульса полуволны выходного напряжения.</p> <p>17 Широтно-импульсное регулирование выходного напряжения инвертора напряжения; гармонический состав выходного напряжения.</p> <p>18 Трехфазный транзисторный инвертор напряжения с <math>\alpha</math>: схема, временные диаграммы, принцип работы, вывод выражения действующих значений напряжений <math>U_\phi</math> и <math>U_L</math>.</p> <p>19 Трехфазный транзисторный инвертор напряжения с <math>\alpha</math>: схема, временные диаграммы, принцип работы, вывод выражения действующих значений напряжений <math>U_\phi</math> и <math>U_L</math>.</p> <p>20 Преобразователь постоянного тока в постоянный ток с последовательным ключевым элементом: схема, временные диаграммы, принцип работы, вывод основных расчетных соотношений.</p> <p>21 Преобразователь постоянного тока в постоянный ток с параллельным ключевым элементом: схема, временные диаграммы, принцип работы, основные расчетные соотношения.</p> <p>22 Преобразователи частоты со звеном постоянного тока: основные структурные схемы, достоинства, недостатки.</p> <p>23 Преобразователь частоты без звена постоянного тока с естественной коммутацией: схема, временные диаграммы, принцип работы.</p> <p>24 Методика расчета параметрического стабилизатора.</p> <p>25 Тиристорный регулятор напряжения переменного тока – работа на активную нагрузку.</p> <p>26 Система импульсно-фазового управления: устройство, принцип работы</p> <p>27 Устройство, принцип работы, характеристики однотактного прямоходового конвертора</p> <p>28 Энергетические показатели работы выпрямителя: коэффициент мощности, коэффициент полезного действия.</p> <p>29 Корректор коэффициента мощности: устройство, принцип работы</p>
--	--

Вопросы (задачи) для зачета / дифф. зачета представлены в таблице 16.  
Таблица 16 – Вопросы (задачи) для зачета / дифф. зачета

№ п/п	Перечень вопросов (задач) для зачета / дифф. зачета
-------	---

Учебным планом не предусмотрено
---------------------------------

Перечень тем для курсового проектирования/выполнения курсовой работы представлены в таблице 17.

Таблица 17 – Перечень тем для курсового проектирования/выполнения курсовой работы

№ п/п	Примерный перечень тем для курсового проектирования/выполнения курсовой работы
	Учебным планом не предусмотрено

Вопросы для проведения промежуточной аттестации в виде тестирования представлены в таблице 18.

Таблица 18 – Примерный перечень вопросов для тестов

№ п/п	Примерный перечень вопросов для тестов
	Вопрос №1. Нарисуйте схему трехфазного однофазного управляемого выпрямителя.
	Вопрос №2. Нарисуйте схему трехфазного мостового неуправляемого выпрямителя.
	Вопрос №3. Укажите для каких целей в выпрямителях применяют трансформаторы.
	Вопрос №4. Укажите для каких целей в выпрямителях применяют сглаживающие фильтры.
	Вопрос №5. Определите чему будет равно среднее значение выпрямленного напряжения однофазного мостового неуправляемого выпрямителя, если на его вход подано напряжение переменного тока, равное 100 В?
	Вопрос №6. Определите чему будет равно среднее значение выпрямленного напряжения трехфазного мостового неуправляемого выпрямителя, если на его вход подано напряжение переменного тока, равное 100 В?
	Вопрос №7. Определите чему будет равно среднее значение выпрямленного напряжения трехфазного однофазного неуправляемого выпрямителя, если на его вход подано напряжение переменного тока, равное 100 В?
	Вопрос №8. Определите чему равно среднее значение тока диода однофазного мостового неуправляемого выпрямителя, если ток нагрузки равен 100 А.
	Вопрос №9. Определите чему равно среднее значение тока диода трехфазного однофазного неуправляемого выпрямителя, если ток нагрузки равен 150 А.
	Вопрос №10. Определите чему равно среднее значение тока диода трехфазного мостового неуправляемого выпрямителя, если ток нагрузки равен 150 А.
	Вопрос №11. 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 №12. 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 №13. 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 №14. Укажите величину коэффициента пульсаций выпрямленного напряжения однофазного мостового неуправляемого выпрямителя.
	Вопрос №15. Укажите величину коэффициента пульсаций выпрямленного напряжения трехфазного мостового неуправляемого выпрямителя.
	Вопрос №16. Укажите величину коэффициента пульсаций выпрямленного напряжения трехфазного однотактного неуправляемого выпрямителя.
	Вопрос №17. Укажите величину коэффициента пульсаций выпрямленного напряжения трехфазного однотактного неуправляемого выпрямителя.
	Вопрос №18. Укажите в каком из выпрямителей - однофазном мостовом, трехфазном однотактном или трехфазном мостовом, имеет место вынужденное подмагничивание сердечника магнитопровода трансформатора постоянным потоком.
	Вопрос №19. Дайте определение понятию «Угол регулирования $\alpha$ ».
	Вопрос №20. Дайте определение понятию «Угол коммутации $\gamma$ ».
	Вопрос №21. Дайте определение понятию «граничное значение угла регулирования $\alpha_{гр}$ ».
	Вопрос №22. Укажите значение угла $\alpha_{гр}$ для однофазного мостового управляемого выпрямителя, работающего на чисто активную нагрузку.
	Вопрос №23. Укажите значение угла $\alpha_{гр}$ для трехфазного мостового управляемого выпрямителя, работающего на чисто активную нагрузку.
	Вопрос №24. Укажите значение угла $\alpha_{гр}$ для трехфазного однотактного управляемого выпрямителя, работающего на чисто активную нагрузку. Вопрос №25. Дайте определение понятию «угол запираания $\alpha_{зап}$ ».
	Вопрос №26. Укажите значение угла $\alpha_{зап}$ для однофазного мостового управляемого выпрямителя, работающего на чисто активную нагрузку.
	Вопрос №27. Укажите значение угла $\alpha_{зап}$ для трехфазного мостового управляемого выпрямителя, работающего на чисто активную нагрузку.
	Вопрос №28. Укажите значение угла $\alpha_{зап}$ для трехфазного однотактного управляемого выпрямителя, работающего на чисто активную нагрузку.

	Вопрос №29. Укажите как влияет ток нагрузки на величину угла коммутации $\gamma$ (увеличивает его или уменьшает).
	Вопрос №30. Укажите как влияет напряжение переменного тока на величину угла коммутации $\gamma$ (увеличивает его или уменьшает).
	Вопрос №31. Укажите как влияет индуктивное сопротивление рассеяния обмотки сетевого трансформатора на величину угла коммутации $\gamma$ (увеличивает его или уменьшает).
	Вопрос №32. Укажите как влияет увеличение угла коммутации $\gamma$ управляемого выпрямителя на величину его коэффициента мощности $\chi$ (увеличивает его или уменьшает).
	Вопрос №33. Укажите как влияет увеличение угла регулирования $\alpha$ управляемого выпрямителя на величину его коэффициента мощности $\chi$ (увеличивает его или уменьшает).
	<p>Вопрос №34. Укажите по какой формуле (№1 или №2) следует рассчитывать коэффициент полезного действия выпрямителя <math>\eta</math>:</p> $\eta = P_d / P_2 \quad (1);$ $\eta = P_2 / P_d \quad (2),$ <p>где <math>P_d = U_d I_d</math> - мощность цепи постоянного тока преобразователя;  <math>P_2 = m_2 U_2 I_2 \cos \varphi</math> – активная мощность цепи переменного тока преобразователя.</p>
	<p>Вопрос №35. Укажите какое из трех нижеприведенных определений инвертора (1, 2 или 3) - правильное:</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. Инвертор преобразует электрическую энергию переменного тока в электрическую энергию постоянного тока;</li> <li>2. Инвертор преобразует электрическую энергию постоянного тока в электрическую энергию переменного тока;</li> <li>3. Инвертор преобразует электрическую энергию постоянного тока с напряжением <math>U_1</math> в электрическую энергию постоянного тока с напряжением <math>U_2</math>.</li> </ol>
	<p>Вопрос №36. Укажите в каких пределах <math>0 &lt; \alpha &lt; 90^\circ</math> или <math>90^\circ &lt; \alpha &lt; 180^\circ</math> должен находиться угол регулирования <math>\alpha</math> в режиме инвертирования.</p> <p>Вопрос №37. Укажите следует ли изменять полярность напряжения цепи постоянного тока выпрямителя на противоположное при переводе выпрямителя в режим инвертирования.</p>
	Вопрос №38. Укажите параметры зависимого инвертора, воздействуя на которые можно регулировать величину мощности, отдаваемой зависимым инвертором в сеть переменного тока.
	Вопрос №39. Укажите по какой формуле (№1 или №2) следует рассчитывать



	<p>коэффициент полезного действия зависимого инвертора <math>\eta_{з.и}</math>:</p> $\eta = P_d/P_2 \quad (1);$ $\eta = P_2/P_d \quad (2),$ <p>где <math>P_d=U_dI_d</math> - мощность цепи постоянного тока преобразователя;</p> $P_2=m_2U_2I_2\cos\varphi$ – активная мощность цепи переменного тока преобразователя
	<p>Вопрос №40. Поясните, что означает термин «вторичный источник питания».</p>
	<p>Вопрос №41. Укажите возможный диапазон регулирования выходного напряжения (1, 2, 3 или 4) ВИП, выполненного по схеме ОДППН I рода.</p> <p>1 - <math>U_{\text{ВЫХ}} &gt; U_{\text{ВХ}}</math>;</p> <p>2 - <math>U_{\text{ВЫХ}} &lt; U_{\text{ВХ}}</math>;</p> <p>3 - <math>U_{\text{ВЫХ}} = U_{\text{ВХ}}</math>;</p> <p>4 - <math>U_{\text{ВЫХ}}</math> может быть как больше, так и меньше <math>U_{\text{ВХ}}</math>.</p>
	<p>Вопрос №42. Укажите возможный диапазон регулирования выходного напряжения (1, 2, 3 или 4) ВИП, выполненного по схеме ОДППН II рода:</p> <p>1 - <math>U_{\text{ВЫХ}} &gt; U_{\text{ВХ}}</math>;</p> <p>2 - <math>U_{\text{ВЫХ}} &lt; U_{\text{ВХ}}</math>;</p> <p>3 - <math>U_{\text{ВЫХ}} = U_{\text{ВХ}}</math>;</p> <p>4 - <math>U_{\text{ВЫХ}}</math> может быть как больше, так и меньше <math>U_{\text{ВХ}}</math>.</p>
	<p>Вопрос №43. Укажите возможный диапазон регулирования выходного напряжения (1, 2, 3 или 4) ВИП, выполненного по схеме ОПП:</p> <p>1 - <math>U_{\text{ВЫХ}} &gt; U_{\text{ВХ}}</math>;</p> <p>2 - <math>U_{\text{ВЫХ}} &lt; U_{\text{ВХ}}</math>;</p> <p>3 - <math>U_{\text{ВЫХ}} = U_{\text{ВХ}}</math>;</p> <p>4 - <math>U_{\text{ВЫХ}}</math> может быть как больше, так и меньше <math>U_{\text{ВХ}}</math>.</p>
	<p>Вопрос №44. Укажите формулу (1, 2 или 3), по которой следует определять коэффициент пульсаций выходного напряжения ВИП:</p> <p>1 - <math>k_{\text{п}} = U_{\text{пм}}/U_{\text{нг.ср}}</math>;</p> <p>2 - <math>k_{\text{п}} = U_{\text{пм}}/U_{\text{вх.ср}}</math>;</p> <p>3 - <math>k_{\text{п}} = U_{\text{нг.ср}}/U_{\text{вх.ср}}</math>.</p>
	<p>Вопрос №45. Укажите формулу (1, 2, 3 или 4), по которой следует рассчитывать величину выходного напряжения ВИП, выполненного по схеме ОППН I:</p>

	$1 - U_{\text{вых.ср}} = U_{\text{вх}} \gamma;$ $2 - U_{\text{вых.ср}} = U_{\text{вх}} / \gamma;$ $3 - U_{\text{вых.ср}} = U_{\text{вх}} (1 - \gamma);$ $4 - U_{\text{вых.ср}} = U_{\text{вх}} / (1 - \gamma).$
	<p>Вопрос №46. Укажите формулу (1, 2, 3 или 4), по которой следует рассчитывать величину выходного напряжения ВИП, выполненного по схеме ОПН II:</p> $1 - U_{\text{вых.ср}} = U_{\text{вх}} \gamma;$ $2 - U_{\text{вых.ср}} = U_{\text{вх}} / \gamma;$ $3 - U_{\text{вых.ср}} = U_{\text{вх}} (1 - \gamma);$ $4 - U_{\text{вых.ср}} = U_{\text{вх}} / (1 - \gamma).$
	<p>Вопрос №47. Укажите формулу (1, 2, 3 или 4), по которой следует рассчитывать величину выходного напряжения ВИП, выполненного по схеме ОПП:</p> $1 - U_{\text{вых.ср}} = U_{\text{вх}} \gamma / k_{\text{тр}};$ $2 - U_{\text{вых.ср}} = U_{\text{вх}} / (\gamma k_{\text{тр}});$ $3 - U_{\text{вых.ср}} = U_{\text{вх}} (1 - \gamma) / k_{\text{тр}};$ $4 - U_{\text{вых.ср}} = U_{\text{вх}} / [(1 - \gamma) k_{\text{тр}}].$
	<p>Вопрос №48. Укажите формулу (1, 2 или 3) для расчета коэффициента полезного действия ВИП <math>\eta</math>:</p> $1 - \eta = P_{\text{нг}} / P_{\text{вх}};$ $2 - \eta = P_{\text{вх}} / P_{\text{нг}};$ $3 - \eta = 1 - P_{\text{нг}} / P_{\text{вх}}.$

Перечень тем контрольных работ по дисциплине обучающихся заочной формы обучения, представлены в таблице 19.

Таблица 19 – Перечень контрольных работ

№ п/п	Примерный перечень контрольных и практических задач / заданий
	<p><b>ЗАДАЧИ</b></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</p>

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.

При решении первой задачи контрольного задания необходимо для заданного варианта схемы управляемого выпрямителя (смотри таблицу 17):

- нарисовать схему выпрямителя;

- построить временные диаграммы напряжений сети переменного тока для указанной схемы выпрямления.

Используя временные диаграммы напряжений сети переменного тока, построить временную диаграмму напряжения нагрузки для заданных значениях угла регулирования и индуктивности цепи нагрузки.

Пользуясь графо-аналитическим методом по временной диаграмме напряжения нагрузки определить коэффициент пульсаций выпрямленного напряжения ( $k_{п1} =$  )

Схема управляемого выпрямителя задана двумя параметрами:

- 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  $k_T = 2$ .

Угол регулирования  $\alpha$  задан в градусах, ( $\alpha =$  ,град.);

Характер нагрузки зависит от наличия или отсутствия индуктивности в цепи нагрузки. При наличии индуктивности в цепи нагрузки  $Ld = Ld_N$  нагрузки имеет активно-индуктивный характер, а при отсутствии индуктивности в цепи нагрузки  $Ld = 0$  нагрузка имеет чисто индуктивный характер.

Варианты задания

Таблица 17

Вар.	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
$m_2$	1	1	1	1	1	1	1	1	3	3
$k_T$	2	2	2	2	2	2	2	2	1	1
$\alpha$ , 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 17

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
$\alpha$ , 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  $\alpha = 60^0$ .

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 18 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,  $U_{нгN} = В$ ;

Ток нагрузки ,  $I_{нгN} = А$ ;

Частота выходного напряжения,  $f = Гц$ ;

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

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  $\gamma$ ;

Варианты заданий сведены в таблицу 18 .

Таблица 18

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
$U_{нгN}, B$	3 6	1 1 5	2 2 0	6 0	70	80	90	10 0	1 1 5	2 2 0
$I_{нгN}, A$	1	1, 0	0, 8	4	5	4	3	2	1, 0	0, 8
$f, Гц$	5 0	4 0 0	5 0	3 0 0	40 0	30 0	20 0	10 0	4 0 0	5 0
$U_{вхN}, B$	1 2	1 0	1 5	1 2	24	36	12	24	1 2	1 8
$\pm \Delta U_{вх}, \%$	1 0	0, 1	0, 1	1 0	15	20	15	10	1 0	1 5
$k_{г.в.ых}$	0, 0 5	0, 8	0, 7	0, 0 5	0,0 5	0,0 5	0,0 5	0,0 5	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 18

Параметры	Варианты заданий									
	11	12	13	14	15	16	17	18	19	
Схема инвертора	Б	В	А	Б	В	А	Б	В	А	
$U_{нгN}, B$	11	22	11	22	20	12	36	4	11	

	5	0	5	0	0	7		8	5	0
$I_{\text{нгN}}, A$	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	500	400	50
$U_{\text{вхN}}, B$	12	18	24	36	48	60	110	12	12	18
$\pm \Delta U_{\text{вх}}, \%$	10	15	20	25	10	15	20	25	10	15
$k_{\text{г.в.ых}}$	0,1	0,1	0,1	0,1	0,08	0,08	0,08	0,08	0,1	0,1
$\cos \varphi_{\text{нг}}$	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  $\gamma$ ;
- 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 ( $k_{\text{г.в.ых}}$ ).

Варианты заданий второй задачи задаются студентам из таблицы 18.

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 и расчета однофазного мостового инвертора напряжения (1.10).
---

10.4. Методические материалы, определяющие процедуры оценивания индикаторов, характеризующих этапы формирования компетенций, содержатся в локальных нормативных актах ГУАП, регламентирующих порядок и процедуру проведения текущего контроля успеваемости и промежуточной аттестации обучающихся ГУАП.

Целью дисциплины является – получение студентами необходимых знаний, умений и навыков в области современных устройств и систем энергетической 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 энергетической электроники. Уровень освоения дисциплины должен позволять студентам проводить типовые расчеты основных параметров и характеристик устройств и систем энергетической электроники, проводить элементарные лабораторные испытания устройств и систем энергетической электроники.

### **11.1 Методические указания для обучающихся по освоению лекционного материала**

Раздел 1. Выпрямители.

Тема 1.1. Устройство, принцип работы, вывод основных расчетных соотношений однофазных схем выпрямителей.

Литература [1], стр.14-25, 27-37.

*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. 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.*

*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.*

***Для каждой из изученных однофазных схем выпрямления:***

*4 Сформулируйте принцип работы схемы выпрямления.*

5 Укажите во сколько раз действующее значение напряжения, подаваемого на вход выпрямителя, должно быть больше среднего значения напряжения нагрузки?

6 Укажите во сколько раз расчетная мощность вторичной обмотки трансформатора больше мощности нагрузки?

7 Укажите во сколько раз расчетная мощность первичной обмотки трансформатора больше мощности нагрузки?

8 Укажите во сколько раз расчетная мощность трансформатора больше мощности нагрузки?

9 Чему равна частота пульсаций выпрямленного напряжения?

10 Чему равен коэффициент пульсаций выпрямленного напряжения?

Тема 1.2. Устройство, принцип работы трехфазного однотактного выпрямителя, вывод основных расчетных соотношений.

Тема 2.3. Управляемый трехфазный мостовой выпрямитель- устройство, принцип работы, вывод основных расчетных соотношений.

Тема 2.4. Многофазные схемы выпрямления.

Литература [1], стр.25-26, 38-48, 77-81.

*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  $\alpha$ . 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  $\alpha$ . При изучении этой темы для каждой рассматриваемой схемы выпрямления старайтесь самостоятельно нарисовать 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. 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:*

**Для каждой из рассмотренных схем выпрямления:**

1 Сформулируйте принцип работы схемы управляемого выпрямителя. 2 Укажите требуемый диапазон изменения угла  $\alpha$  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  $\alpha_{зан}$  при активной и активно-индуктивной нагрузке.

4 Дайте определение понятию «внешняя характеристика».



*5 Перечислите виды падения напряжения на элементах схемы выпрямителя и укажите формулы для их расчета.*

Пульсации выходного напряжения и тока выпрямителей. Сглаживающие фильтры.  
Литература [1], стр.89-94.

*Методические указания.*

Дискретный характер работы полупроводниковых вентилей 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;*

*-дресселя для индуктивного фильтра;*

*-конденсатора и дресселя для индуктивно-емкостного фильтра;*

*4 Какую проверку следует выполнить после выбора элементов фильтра.*

Тема 1.3. Коммутация тока в выпрямителях. Влияние коммутации на характеристики выпрямителя.

Литература [1], стр.68-74.

*Методические указания.*

Под коммутацией тока в выпрямителях при их работе понимают процесс перехода тока нагрузки с одного вентилей на другой. Этот процесс происходит не мгновенно, а в течение определенного временного интервала, определяемого углом коммутации  $\gamma$ . При изучении этой темы следует установить какие параметры выпрямителя и питающей сети оказывают влияние на величину угла коммутации  $\gamma$ , 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 1.4 Искажение формы тока, потребляемого выпрямителем из питающей сети.

Литература [1], стр.110-114.

*Методические указания.*

Дискретный характер работы вентиляй выпрямителя приводит к искажению формы кривой тока, потребляемого выпрямителем из питающей сети. При изучении этого раздела необходимо обратить внимание на различие формы кривой потребляемого выпрямителем тока в зависимости от схемы выпрямителя и величины угла коммутации. Важно установить каким образом искажение формы кривой потребляемого выпрямителем тока оказывает влияние на величину коэффициента мощности выпрямителя и ухудшает электромагнитную совместимость выпрямителя с питающей сетью.

*Вопросы для самоконтроля:*

*1 Как оценить влияние управляемого выпрямителя на питающую сеть (на форму кривых напряжения питающей сети и форму потребляемого тока)?*

Тема 1.5. Система импульсно- фазового управления выпрямителей- устройство, принцип работы.

Литература [1], стр.151-154.

*Методические указания.*

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.

*Вопросы для самоконтроля:*

*1.Как рассчитать коэффициент усиления СИФУ?*

*2.При какой форме опорного сигнала СИФУ регулировочная характеристика управляемого выпрямителя имеет линейный характер, а коэффициент передачи постоянный?*

Тема 1.6. Энергетические показатели выпрямителей- коэффициент полезного действия, коэффициент мощности.

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?

Раздел 2. Зависимые инверторы. Устройство, принцип работы, характеристики, 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 определение понятию «ограничительная характеристика».

5. Укажите отличие в формуле расчета коэффициента мощности управляемого выпрямителя и зависимого инвертора

Раздел 3 Автономные инверторы.

Тема 3.1. Однофазные инверторы тока параллельного и последовательного типа-устройство, принцип работы, вывод основных расчетных соотношений.

Литература [2], стр.

*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. 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».

*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.*

Тема 3.2. Однофазные инверторы напряжения. Устройство, принцип работы, способы регулирования величины выходного напряжения. Выходные фильтры инверторов напряжения.

Литература [2], стр.

*Методические указания.*

Изучение тем, относящихся к инверторам напряжения, следует начать с 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.

*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

3 *Как определить гармонический состав выходного напряжения инвертора при реализации широтного способа управления?* 4

4 *Как рассчитать загрузку транзисторов по току и напряжению?*

Тема 3.3. Трехфазные инверторы напряжения. Устройство, принцип работы, характеристики,

Литература [2], стр.4-33, стр.45-63.

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».

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 Нарисуйте схему трехфазного инвертора напряжения и временные диаграммы напряжений управления и выходных напряжений трехфазного инвертора напряжения.*

*2 Что такое спектр выходного напряжения? 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.*

Раздел 4. Регуляторы напряжения переменного тока.

Однофазные тиристорные регуляторы переменного напряжения Устройство, принцип работы, характеристики,  
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 вентиля. 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.

Модуль 5. Преобразователи частоты.

Тема 5.1. Преобразователи частоты со звеном постоянного тока. Устройство, принцип работы, характеристики,

Тема 5.2. Преобразователи частоты без звена постоянного тока. Устройство, принцип работы, 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.

Раздел 6. Преобразователи постоянного тока в постоянный ток (ППТ).

Тема 6.1. ППТ с последовательным ключевым элементом. Устройство, принцип работы, вывод основных расчетных соотношений.

Тема 6.2. ППТ с параллельным ключевым элементом. Устройство, принцип работы, вывод основных расчетных соотношений.

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 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 6.3. Однотактный прямоходовой конвертор. Устройство, принцип работы, вывод основных расчетных соотношений.

Литература [3], с. 56-57, 75-80.

*Методические указания.*

Трансформаторные преобразователи постоянного напряжения в постоянное напряжение могут быть выполнены по однотактной 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 кГц. 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 однотактных преобразователей постоянного напряжения.*

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

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

**11.2 Методические указания для обучающихся по прохождению лабораторных работ** приведены в учебно-методических пособия [4], [5], [6], [7], [8], [9].

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 в [5], [6].

**Структура и форма отчета о лабораторной работе** приведены в [5], [6].

**Требования к оформлению отчета о лабораторной работе** приведены в [5], [6].

**Методические указания для обучающихся по прохождению самостоятельной работы изложены в п. 11.1, контрольные задачи приведены в п.20.**

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;
- методические указания по выполнению контрольных работ (для обучающихся по заочной форме обучения).

### **11.3 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».

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