

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

Кафедра № 32

УТВЕРЖДАЮ
Руководитель образовательной программы

доц., к.т.н., доц.

(должность, уч. степень, звание)

О.Я. Солёная

(инициалы, фамилия)

(подпись)

«17» февраля 2025 г

РАБОЧАЯ ПРОГРАММА ДИСЦИПЛИНЫ

«Энергетическая электроника»
(Наименование дисциплины)

Код направления подготовки/ специальности	13.03.02
Наименование направления подготовки/ специальности	Электроэнергетика и электротехника
Наименование направленности	Цифровая энергетика
Форма обучения	очно-заочная
Год приема	2025

Санкт-Петербург – 2025

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

«17» февраля 2025 г, протокол № 5

Заведующий кафедрой № 32

к.т.н., доц.

(уч. степень, звание)


(подпись, дата)С.В. Солёный

(инициалы, фамилия)

Заместитель директора института №3 по методической работе

Ст. преп.

(должность, уч. степень, звание)


(подпись, дата)Н.В. Решетникова

(инициалы, фамилия)

Аннотация

Дисциплина «Энергетическая электроника» входит в образовательную программу высшего образования – программу бакалавриата по направлению подготовки/специальности 13.03.02 «Электроэнергетика и электротехника» направленности «Цифровая энергетика». Дисциплина реализуется кафедрой «№32».

Дисциплина не является обязательной при освоении обучающимся образовательной программы и направлена на углубленное формирование следующих компетенций:

ПК-3 «Способен принимать участие в проектировании объектов профессиональной деятельности в соответствии с техническим заданием и нормативно-технической документацией»

Содержание дисциплины охватывает круг вопросов, связанных с

- преобразованием электрической энергии посредством полупроводниковых преобразователей; расчетом основных параметров и характеристик полупроводниковых преобразователей.

Преподавание дисциплины предусматривает следующие формы организации учебного процесса: лабораторные занятия, самостоятельная работа студента, консультации.

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

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

Общая трудоемкость освоения дисциплины составляет 2 зачетных единицы, 72 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 является факультативной дисциплиной по направлению 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
Профессиональные компетенции	ПК-3 Способен принимать участие в проектировании объектов профессиональной деятельности в соответствии с техническим заданием и нормативно-технической документацией	ПК-3.Д.6 определяет параметры элементов объектов профессиональной деятельности в различных режимах работы

2. Место дисциплины в структуре ОП

Дисциплина может базироваться на знаниях, ранее приобретенных обучающимися при изучении следующих дисциплин:

- Физика;
- Электротехника.

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

- Силовая электроника;
- Основы преобразовательной техники.

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
		№6
1	2	3
Общая трудоемкость дисциплины, ЗЕ/ (час)	2/ 72	2/ 72
Из них часов практической подготовки	17	17
Аудиторные занятия, всего час.	17	17
в том числе:		
лекции (Л), (час)		
практические/семинарские занятия (ПЗ), (час)		
лабораторные работы (ЛР), (час)	17	17
курсовой проект (работа) (КП, КР), (час)		
экзамен, (час)		
Самостоятельная работа, всего (час)	55	55
Вид промежуточной аттестации: зачет, дифф. зачет, экзамен (Зачет, Дифф. зач, Экз.**)	Дифф. Зач.	Дифф. Зач.

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 6					
Раздел 1.					6
Раздел 1. Полупроводниковые приборы силовой электроники					
Тема 1.1. Устройство, принцип работы, характеристики диодов, тиристоров, биполярных транзисторов					
Тема 1.2. Устройство, принцип работы, характеристики полевых транзисторов, IGBT транзисторов, драйверы- схемы подключения					
Раздел 2. Выпрямители			6		20
Тема 2.1.Классификация выпрямителей и основные параметры и характеристики выпрямителей.					
Тема 2.2. Многофазные выпрямители					

Тема 2.3. Активные выпрямители					
Тема 2.4. Коммутация тока в выпрямителях и влияние ее на характеристики выпрямителя					
Тема 2.5. Искажение формы тока, потребляемого выпрямителем из питающей сети					
Тема 2.6. Система импульсно-фазового управления					
Тема 2.7. Энергетические показатели выпрямителя.					
Раздел 3. Зависимые инверторы			2		6
Тема 3.1. Зависимый инвертор, выполненный на однооперационных тиристорах					
Тема 3.2. Зависимый инвертор, выполненный на управляемых вентилях					
Раздел 4. Регуляторы напряжения переменного тока					6
Тема 4.1. Однофазные регуляторы напряжения переменного тока			2		
Тема 4.2. Трехфазные регуляторы напряжения переменного тока					
Раздел 5. Инверторы			7		17
Итого в семестре:	0		17		55
Итого:	0	0	17	0	55

Практическая подготовка заключается в непосредственном выполнении обучающимися определенных трудовых функций, связанных с будущей профессиональной деятельностью.

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
	Учебным планом не предусмотрено

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)	Из них практической подготовки, (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)	Из них практическ ой подго- товки, (час	№ разде- ла дисци- плины
Семестр 6				
1	Трехфазный однотактный управляемый выпрямитель	3	3	2
2	Трехфазный мостовой управляемый выпрямитель	3	3	2
3	Зависимый инвертор	2	4	3
4	Регуляторы переменного напряжения	2	2	4
3	Однофазный инвертор тока параллельного типа	2	2	5
4	Однофазный инвертор тока последовательного типа	2	2	5
5	Трехфазный инвертор напряжения	3	3	5
Всего:		17	17	

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 6, час
1	2	3

Изучение теоретического материала дисциплины (ТО)	35	36
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)	10	10
Всего:	55	55

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)
621.311 М29	1.Мартынов А.А. Силовая электроника. Часть I. Выпрямители и регуляторы переменного напряжения. ГУАП. СПб. 2011. 186с.	70
621.311 М29	2.Мартынов А.А. Силовая электроника. Часть II. Инверторы и преобразователи частоты. ГУАП. СПб.2012. 144с.	70
621.382 М29	3.Мартынов А.А. Силовая электроника: учеб. –метод. Пособие/А.А. Мартынов.-СПб.: ГУАП, 2015.-214с.	70

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
URL:http://194.226.30/32/book.htm	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	21-21
5	Специализированная лаборатория «Энергетическая электроника»	51-06-01

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
Дифференцированный зачёт	Список вопросов; 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"> – 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.
«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.
«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.
«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.

10.3. 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	Код индикатора
	Учебным планом не предусмотрено	

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	Код
-------	---	-----

		индикатора
1	Реальные и идеальные вольтамперные характеристики полупроводниковых диодов, тиристоров и транзисторов.	ПК-3.Д.6
2	Однофазный мостовой выпрямитель: схема, временные диаграммы, принцип работы, вывод расчетных соотношений.	ПК-3.Д.6
3	Трехфазный одноктактный выпрямитель: схема, временные диаграммы, принцип работы.	ПК-3.Д.6
4	Особенности работы трансформатора в трехфазном одноктактном выпрямителе.	ПК-3.Д.6
5	Трехфазный одноктактный управляемый выпрямитель: схема, принцип работы, вывод выражения $U_d \alpha = f(\alpha)$.	ПК-3.Д.6
6	Трехфазный мостовой управляемый выпрямитель: схема, временные диаграммы, вывод основных расчетных соотношений.	ПК-3.Д.6
7	Коммутация тока в выпрямителях: влияние на величину выпрямленного напряжения, вывод выражения для угла коммутации γ .	ПК-3.Д.6
8	Внешняя характеристика управляемого выпрямителя, $U_d \alpha = f(I_d)$ при $\alpha = const$.	ПК-3.Д.6
9	Регулировочные характеристики управляемых выпрямителей $U_d \alpha = f(\alpha)$ при $L_d = 0$ и $L_d = L_{dN}$, $I_d = const$.	ПК-3.Д.6
10	Коэффициент пульсаций выпрямленного напряжения. Определение коэффициента пульсаций графоаналитическим и аналитическим методами.	ПК-3.Д.6
11	L-C фильтр, вывод выражения коэффициента сглаживания фильтра.	ПК-3.Д.6
12	L-фильтр. Вывод выражения для коэффициента сглаживания фильтра.	ПК-3.Д.6
13	Зависимый инвертор: схема, принцип работы, условия перевода управляемого выпрямителя в режим инвертирования.	ПК-3.Д.6
14	Коэффициент мощности и коэффициент полезного действия управляемого выпрямителя	ПК-3.Д.6
15	Коэффициент мощности и коэффициент полезного действия зависимого инвертора	ПК-3.Д.6
16	Тиристорный регулятор напряжения переменного тока: устройство, принцип работы	ПК-3.Д.6
17	Однофазный мостовой инвертор тока параллельного типа: схема, временные диаграммы, принцип работы, вывод основных расчетных соотношений	ПК-3.Д.6
18	Однофазный мостовой инвертор последовательного типа: схема, временные диаграммы, принцип работы, вывод основных расчетных соотношений.	ПК-3.Д.6
19	Однофазный мостовой инвертор напряжения: схема, временные диаграммы, принцип работы, вывод выражений для P_{d1} , P_{d2} , P_d .	ПК-3.Д.6
20	Трехфазный транзисторный инвертор напряжения с $\lambda_{II} = 180^\circ$: схема, временные диаграммы, принцип работы, вывод выражения действующих значений напряжений УФ и УЛ.	ПК-3.Д.6
21	Трехфазный транзисторный инвертор напряжения с $\lambda_{II} = 120^\circ$: схема, временные диаграммы, принцип работы, вывод выражения действующих значений напряжений УФ и УЛ.	ПК-3.Д.6

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	Код индикатора										
	Тест №1. Выберите один правильный вариант ответа и напишите обоснование выбора											
1	<p>Тема 1-1. Определите чему будет равно среднее значение выпрямленного напряжения однофазного мостового неуправляемого выпрямителя, если на его вход подано напряжение переменного тока, равное 100 В?</p> <table><tr><th>Номер ответа</th><th>Значение напряжения</th></tr><tr><td>1</td><td>100 В</td></tr><tr><td>2</td><td>50 В</td></tr><tr><td>3</td><td>127В</td></tr><tr><td>4</td><td>90 В</td></tr></table>	Номер ответа	Значение напряжения	1	100 В	2	50 В	3	127В	4	90 В	ПК-3.Д.6
Номер ответа	Значение напряжения											
1	100 В											
2	50 В											
3	127В											
4	90 В											
2	<p>Тема 1-2: Определите чему равно среднее значение тока диода однофазного мостового неуправляемого выпрямителя, если ток нагрузки равен 100 А.</p> <table><tr><th>Номер ответа</th><th>Значение напряжения</th></tr><tr><td>1</td><td>100 А</td></tr><tr><td>2</td><td>50 А</td></tr><tr><td>3</td><td>66,6 А</td></tr><tr><td>4</td><td>33,3 А</td></tr></table>	Номер ответа	Значение напряжения	1	100 А	2	50 А	3	66,6 А	4	33,3 А	ПК-3.Д.6
Номер ответа	Значение напряжения											
1	100 А											
2	50 А											
3	66,6 А											
4	33,3 А											
	Тест 2. Выберите два правильных варианта ответа из четырех и напишите обоснование выбора											
3	<p>Тест 2-1. Укажите какие полупроводниковые усилители мощности (1), (2), (3) или (4) находят применение в электроприводах постоянного тока:</p> <p>1 – управляемые выпрямители;</p> <p>2 – преобразователи частоты;</p> <p>3 – широтно – импульсные преобразователи постоянного тока;</p> <p>4 – тиристорные регуляторы напряжения.</p>	ПК-3.Д.6										

4	<p>Тест 2-2. Укажите какие полупроводниковые усилители мощности (1), (2), (3) или (4) находят применение в асинхронных электроприводах:</p> <p>1 – управляемые выпрямители;</p> <p>2 – преобразователи частоты;</p> <p>3 – широтно – импульсные преобразователи постоянного тока;</p> <p>4- тиристорные регуляторы напряжения.</p>	ПК-3.Д.6												
	<p>Тест 3. Установите соответствие формул для расчета параметров выпрямителя</p>	ПК-3.Д.6												
5	<p>Тест 3-1. Укажите схему выпрямления, частота пульсаций выпрямленного напряжения которого, соответствует значению, указанному в таблице, и обоснуйте выбор ответа. Частоту сети принять равной 50 Гц</p> <p>-однофазный мостовой выпрямитель; $k_T=2$; $m_2=1$;</p> <p>-трехфазный одноктактный выпрямитель; $k_T=1$; $m_2=3$;</p> <p>-трехфазный мостовой выпрямитель; $k_T=2$; $m_2=3$;</p> <p>-шестифазный одноктактный выпрямитель $k_T=1$; $m_2=6$;</p> <table><tr><th>Схема выпрямления</th><th>Значение частоты пульсаций</th></tr><tr><td></td><td>100 Гц</td></tr><tr><td></td><td>150 Гц</td></tr><tr><td></td><td>300 Гц</td></tr><tr><td></td><td>300 Гц</td></tr></table>	Схема выпрямления	Значение частоты пульсаций		100 Гц		150 Гц		300 Гц		300 Гц	ПК-3.Д.6		
Схема выпрямления	Значение частоты пульсаций													
	100 Гц													
	150 Гц													
	300 Гц													
	300 Гц													
6	<p>Тест 3-2. Укажите какие два способа управления из четырех (несимметричный, совместный, симметричный, раздельный) относятся к реверсивному тиристорному преобразователя электропривода постоянного тока и какие способы управления относятся к реверсивному широтно- импульсному преобразователю электропривода постоянного тока.</p> <table><tr><th>Схема преобразователя</th><th>Способы управления</th></tr><tr><td>Реверсивный тиристорный преобразователь</td><td></td></tr><tr><td></td><td></td></tr><tr><th>Схема преобразователя</th><th>Способы управления</th></tr><tr><td>Реверсивный широтно-импульсный преобразователь</td><td></td></tr><tr><td></td><td></td></tr></table>	Схема преобразователя	Способы управления	Реверсивный тиристорный преобразователь				Схема преобразователя	Способы управления	Реверсивный широтно-импульсный преобразователь				ПК-3.Д.6 ПК-3.Д.6
Схема преобразователя	Способы управления													
Реверсивный тиристорный преобразователь														
Схема преобразователя	Способы управления													
Реверсивный широтно-импульсный преобразователь														

	Тест 4. Установите правильную последовательность выполнения действий. Запишите соответствующую последовательность букв слева направо	ПК-3.Д.6
	Тест 4.1. Установите правильную последовательность действий регулирования скорости вращения асинхронного двигателя при управлении от тиристорного регулятора напряжения (ТРН): а- регулируем напряжение, подаваемое на обмотку статора асинхронного двигателя; б- регулируем угол управления ТРН α ; в- регулируем напряжение управления; г- изменяем величину момента асинхронного двигателя; д- скорость вращения асинхронного двигателя изменяется.	ПК-3.Д.6
	Тест 4.2. Укажите правильную последовательность регулирования скорости вращения двигателя постоянного тока при питании его от широтно-импульсного преобразователя: а- регулируем величину коэффициента заполнения импульса; б- регулируем напряжение управления преобразователя; в- регулируем величину напряжения цепи постоянного тока преобразователя, подаваемого на обмотку якоря; г- скорость вращения двигателя постоянного тока изменяется.	ПК-3.Д.6
	Тест 5. Задание открытого типа с развернутым ответом	ПК-3.Д.6
	Тест 5.1. Перечислите достоинства и недостатки совместного способа управления тиристорного электропривода постоянного тока	ПК-3.Д.6
	Тест 5.2. Перечислите достоинства и недостатки отдельного способа управления тиристорного электропривода постоянного тока.	ПК-3.Д.6

Примечание:

Система оценивания тестовых заданий

Задание типа тест 1 с выбором одного верного ответа из четырех предложенных и обоснованием выбора:

Полное совпадение с верным ответом – 1 балл.

Неверный ответ или его отсутствие – 0 баллов.

Задание типа тест 2 с выбором нескольких вариантов ответа из предложенных и развернутым обоснованием выбора:

Полное совпадение с верным ответом 1 балл.

Отсутствие минимум одного правильно ответа или полное отсутствует ответа – 0 баллов.

Задание типа тест 3 на установление соответствия:

Полное совпадение с верным ответом - 1 балл.

Неверное сопоставление ответов или отсутствие ответа – 0 баллов.

Задание типа тест 4 на установление последовательности:

Полное правильное совпадение очередности ответов - 1 баллом

Нарушение правильного порядка ответов или отсутствие ответа – 0 баллов.

Задание типа тест 5 с развернутым ответом:

Правильный ответ за задание оценивается - 3 балла.

Если допущена одна ошибка \ неточность \ ответ правильный, но не полный - 1 балл.

Если допущено более 1 ошибки \ ответ неправильный \ ответ отсутствует – 0 баллов.

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

Таблица 19 – Перечень контрольных работ

№ п/п	Перечень контрольных работ
	Не предусмотрено

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.

11. Методические указания для обучающихся по освоению 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.

11.1 Методические указания для обучающихся самостоятельному освоению лекционного материала приведены в «Методических указаниях по изучению дисциплины «Энергетическая электроника», размещенных на электронном ресурсе каф. №32, а также в учебных пособиях [1], [2], [3].

Основное назначение теоретического материала курса – логически стройное, системное, глубокое и ясное понимание учебного материала.

Раздел 1. Полупроводниковые приборы силовой электроники

Тема 1.1. Устройство, принцип работы, характеристики диодов, тиристоров, биполярных транзисторов

Тема 1.2. Устройство, принцип работы, характеристики полевых транзисторов, IGBT транзисторов, драйверы- схемы подключения

Раздел 2. Выпрямители.

Тема 2.1. 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 2.2. Устройство, принцип работы трехфазного одноконтурного 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 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 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 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 $\alpha_{зап.}$ 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;
- дросселя для индуктивного фильтра;
- конденсатора и дросселя для индуктивно-емкостного фильтра;

4 Какую проверку следует выполнить после выбора элементов фильтра.

Тема 2.5. 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 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 1.4 Искажение формы тока, потребляемого выпрямителем из питающей сети.

Литература [1], стр.110-114.

Методические указания.

Дискретный характер работы вентиля 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 2.6. 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 2.7. 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 3. 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 определению понятию «ограничительная характеристика».*
- 5. Укажите отличие в формуле расчета коэффициента мощности управляемого выпрямителя и зависимого инвертора*

Раздел 4 .Автономные инверторы.

Тема 4.1. 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 4.2. 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 Как определить гармонический состав выходного напряжения инвертора при реализации широтного способа управления?

4 Как рассчитать загрузку транзисторов по току и напряжению?

Тема 4.3. 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 5. 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 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.

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

11.2.Методические указания для обучающихся по прохождению самостоятельной работы

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

Методическими материалами, направляющими самостоятельную работу обучающихся являются:

- учебно-методический материал по дисциплине изложен в [1] –[3];
- вопросы для самоконтроля, приведенные в табл.18..

11.3.Методические указания для обучающихся по прохождению текущего контроля успеваемости.

Текущий контроль успеваемости предусматривает контроль качества знаний обучающихся, осуществляемого в течение семестра с целью оценивания хода освоения дисциплины.

Текущий контроль успеваемости проводится в течение семестра с использованием тестовых вопросов (табл.18. В конце семестра по результатам текущего контроля выставляется оценка, которая учитывается при выставлении оценки по результатам промежуточной аттестации.

11.4.Методические указания для обучающихся по прохождению промежуточной аттестации.

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

- 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».

Промежуточная аттестация проводится по вопросам, приведенным в таблице 16. При оценке окончательных результатов обучения по дисциплине учитывается оценка по текущему контролю,

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