МИНОБРНАУКИ РОССИИ
федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования
«Самарский государственный технический университет»
(ФГБОУ ВО «СамГТУ»)

УТВЕРЖДАЮ:
Первый проректор-проректор по учебной работе
_____ / Д.Е. Овчинников
"_____" _____ 20___ г.

РАБОЧАЯ ПРОГРАММА ДИСЦИПЛИНЫ (МОДУЛЯ)

Б1.В.03.02 «Силовая электроника»

Код и направление подготовки (специальность)	13.03.02 Электроэнергетика и электротехника
Направленность (профиль)	Электромеханика
Квалификация	Бакалавр
Форма обучения	Заочная
Год начала подготовки	2023
Институт / факультет	Электротехнический факультет
Выпускающая кафедра	кафедра "Электромеханика и автомобильное электрооборудование"
Кафедра-разработчик	кафедра "Электромеханика и автомобильное электрооборудование"
Объем дисциплины, ч. / з.е.	180 / 5
Форма контроля (промежуточная аттестация)	Экзамен

Самара 2023

Б1.В.03.02 «Силовая электроника»

Рабочая программа дисциплины разработана в соответствии с требованиями ФГОС ВО по направлению подготовки (специальности) **13.03.02 Электроэнергетика и электротехника**, утвержденного приказом Министерства образования и науки РФ от № 144 от 28.02.2018 и соответствующего учебного плана.

Разработчик РПД:

Старший преподаватель	В.А Арефьев
(должность, степень, ученое звание)	(ФИО)

Заведующий кафедрой	А.В. Стариков, доктор технических наук, профессор
	(ФИО, степень, ученое звание)

СОГЛАСОВАНО:

Председатель методического совета факультета / института (или учебно-методической комиссии)	В.Н Овсянников, кандидат технических наук, доцент
	(ФИО, степень, ученое звание)
Руководитель образовательной программы	Ю.А. Макаричев, доктор технических наук, профессор
	(ФИО, степень, ученое звание)

Содержание

1. Перечень планируемых результатов обучения по дисциплине (модулю), соотнесенных с планируемыми результатами освоения образовательной программы 4
2. Место дисциплины (модуля) в структуре образовательной программы 5
3. Объем дисциплины (модуля) в зачетных единицах с указанием количества академических часов, выделенных на контактную работу обучающихся с преподавателем (по видам учебных занятий) и на самостоятельную работу обучающихся 5
4. Содержание дисциплины (модуля), структурированное по темам (разделам), с указанием отведенного на них количества академических часов и видов учебных занятий 5
4.1 Содержание лекционных занятий 6
4.2 Содержание лабораторных занятий 7
4.3 Содержание практических занятий 7
4.4. Содержание самостоятельной работы 8
5. Перечень учебной литературы и учебно-методического обеспечения по дисциплине (модулю) 10
6. Перечень информационных технологий, используемых при осуществлении образовательного процесса по дисциплине (модулю), включая перечень программного обеспечения 11
7. Перечень ресурсов информационно-телекоммуникационной сети «Интернет», профессиональных баз данных, информационно-справочных систем 11
8. Описание материально-технической базы, необходимой для осуществления образовательного процесса по дисциплине (модулю) 11
9. Методические материалы 12
10. Фонд оценочных средств по дисциплине (модулю) 14

1. Перечень планируемых результатов обучения по дисциплине (модулю), соотнесенных с планируемыми результатами освоения образовательной программы

Наименование категории (группы) компетенций	Код и наименование компетенции	Код и наименование индикатора достижения компетенции	Результаты обучения (знать, уметь, владеть, соотнесенные с индикаторами достижения компетенции)
Профессиональные компетенции			
Не предусмотрено	ПК-1 Способен участвовать в проектировании электротехнических систем и их компонентов	ПК-1.1 Обосновывает выбор методов исследования электротехнических устройств	Владеть программными средствами анализа устройств силовой электроники
			Знать основные характеристики и особенности применения силовых полупроводниковых приборов, классификацию, назначение, схемотехнические решения и области применения основных преобразовательных устройств, принципы и особенности составления проектов
			Уметь анализировать работу преобразовательных устройств, использовать полученные знания при решении практических задач по проектированию, испытаниям и эксплуатации устройств силовой электроники
		ПК-1.4 Использует технологии разработки технической документации электротехнических устройств	Владеть навыками использования государственных стандартов, технических условий, других нормативных и руководящих материалов при проектировании электротехнических комплексов
			Знать технологии разработки технической документации электротехнических устройств
			Уметь составлять техническую документацию

2. Место дисциплины (модуля) в структуре образовательной программы

Место дисциплины (модуля) в структуре образовательной программы: **часть, формируемая участниками образовательных отношений**

Код компетенции	Предшествующие дисциплины	Параллельно осваиваемые дисциплины	Последующие дисциплины
ПК-1		Статистические методы контроля качества; Электрические и электронные аппараты	Подготовка к процедуре защиты и защита выпускной квалификационной работы; Электрические и электронные аппараты; Электрический привод

3. Объем дисциплины (модуля) в зачетных единицах с указанием количества академических часов, выделенных на контактную работу обучающихся с преподавателем (по видам учебных занятий) и на самостоятельную работу обучающихся

Вид учебной работы	Всего часов / часов в электронной форме	5 семестр часов / часов в электронной форме
Аудиторная контактная работа (всего), в том числе:	12	12
Лабораторные работы	4	4
Лекции	4	4
Практические занятия	4	4
Внеаудиторная контактная работа, КСР	5	5
Самостоятельная работа (всего), в том числе:	154	154
подготовка к лабораторным работам	27	27
подготовка к практическим занятиям	28	28
подготовка к экзамену	99	99
Контроль	9	9
Итого: час	180	180
Итого: з.е.	5	5

4. Содержание дисциплины (модуля), структурированное по темам (разделам), с указанием отведенного на них количества академических часов и видов учебных занятий

№ раздела	Наименование раздела дисциплины	Виды учебной нагрузки и их трудоемкость, часы				
		ЛЗ	ЛР	ПЗ	СРС	Всего часов

1	Неуправляемые и управляемые выпрямители, широтно-импульсные преобразователи	2	4	2	91	99
2	Преобразователи частоты и устройства плавного пуска	2	0	2	63	67
	КСР	0	0	0	0	5
	Контроль	0	0	0	0	9
	Итого	4	4	4	154	180

4.1 Содержание лекционных занятий

№ занятия	**Наименование раздела**	**Тема лекции**	**Содержание лекции** (перечень дидактических единиц: рассматриваемых подтем, вопросов)	**Количество часов / часов в электронной форме**
5 семестр				
1	Неуправляемые и управляемые выпрямители, широтно-импульсные преобразователи	Неуправляемые и управляемые выпрямители, широтно-импульсные преобразователи	Силовые диоды, транзисторы и тиристоры. Основные параметры полупроводниковых вентилей. Импульсное регулирование выходного напряжения, его достоинства и недостатки. Однофазный однополупериодный выпрямитель. Однофазный выпрямитель со средней точкой. Однофазный мостовой выпрямитель. Трёхфазный выпрямитель с нулевой точкой. Трёхфазный мостовой выпрямитель. Работа выпрямителей на активную и активно-индуктивную нагрузки. Нереверсивный тиристорный трёхфазный выпрямитель с нулевой точкой. Нереверсивный тиристорный трёхфазный мостовой выпрямитель. Работа управляемых выпрямителей на активную и активно-индуктивную нагрузки. Реверсивный тиристорный однофазный выпрямитель со средней точкой. Реверсивный тиристорный однофазный мостовой выпрямитель. Реверсивный тиристорный трёхфазный выпрямитель с нулевой точкой. Реверсивный тиристорный трёхфазный мостовой выпрямитель. Анализ работы реверсивного мостового ШИП с симметричным и несимметричным управлением.	2

2	Преобразователи частоты и устройства плавного пуска	Преобразователи частоты и устройства плавного пуска	Назначение и классификация автономных инверторов напряжения (АИН). Способы формирования и регулирования выходного напряжения в однофазных АИН. Анализ работы однофазного АИН с широтно-импульсной модуляцией. Классификация трехфазных АИН. Способы формирования и регулирования выходного напряжения в трехфазных АИН. АИН с широтно-импульсной модуляцией. Методы построения преобразователей частоты для управления электродвигателями переменного тока. высоковольтные преобразователи частоты. Закон Костенко для управления асинхронным электродвигателем с короткозамкнутым ротором. Устройство плавного пуска.	2
			Итого за семестр:	**4**
			Итого:	**4**

4.2 Содержание лабораторных занятий

№ занятия	**Наименование раздела**	**Тема лабораторного занятия**	**Содержание лабораторного занятия** (перечень дидактических единиц: рассматриваемых подтем, вопросов)	**Количество часов / часов в электронной форме**
5 семестр				
1	Неуправляемые и управляемые выпрямители, широтно-импульсные преобразователи	Исследование характеристик однофазного и трёхфазного мостовых управляемых выпрямителей с активно-индуктивной нагрузкой.	Снятие осциллограмм напряжений и токов нагрузки и сети для однофазного нереверсивного мостового управляемого выпрямителя.. Снятие характеристики СИФУ. Снятие зависимости среднего значения выходного напряжения и тока от угла регулирования. Определение гармонических составляющих сетевого тока.	2
2	Неуправляемые и управляемые выпрямители, широтно-импульсные преобразователи	Исследование характеристик однофазного и трёхфазного мостовых управляемых выпрямителей с активно-индуктивной нагрузкой.	Снятие осциллограмм напряжений и токов нагрузки и сети для трёхфазного реверсивного мостового управляемого выпрямителя.. Снятие характеристики СИФУ. Снятие зависимости среднего значения выходного напряжения и тока от угла регулирования. Определение гармонических составляющих сетевого тока.	2
			Итого за семестр:	**4**
			Итого:	**4**

4.3 Содержание практических занятий

№ занятия	**Наименование раздела**	**Тема практического занятия**	**Содержание практического занятия** (перечень дидактических единиц: рассматриваемых подтем, вопросов)	**Количество часов / часов в электронной форме**

5 семестр				
1	Неуправляемые и управляемые выпрямители, широтно-импульсные преобразователи	Широтно-импульсные преобразователи.	Анализ работы реверсивных широтно-импульсных преобразователей с симметричным и несимметричным управлением силовыми ключами. Импульсный стабилизатор напряжения с понижением напряжения. Импульсный стабилизатор напряжения с повышением напряжения. Импульсный стабилизатор напряжения с инвертированием напряжения. Прямоходовый и обратноходовый имульсные стабилизаторы напряжения. Корректор неактивной мощности.	2
2	Преобразователи частоты и устройства плавного пуска	Преобразователи частоты.	Силовая схема преобразователя частоты. Анализ электромагнитных процессов в силовой схеме преобразователя частоты. Пространственно-векторная модуляция.	2
			Итого за семестр:	**4**
			Итого:	**4**

4.4. Содержание самостоятельной работы

Наименование раздела	**Вид самостоятельной работы**	**Содержание самостоятельной работы** (перечень дидактических единиц: рассматриваемых подтем, вопросов)	**Количество часов**
5 семестр			
Неуправляемые и управляемые выпрямители, широтно-импульсные преобразователи	Подготовка к практическим занятиям	Анализ работы реверсивных широтно-импульсных преобразователей с симметричным и несимметричным управлением силовыми ключами. Импульсный стабилизатор напряжения с понижением напряжения. Импульсный стабилизатор напряжения с повышением напряжения. Импульсный стабилизатор напряжения с инвертированием напряжения. Прямоходовый и обратноходовый имульсные стабилизаторы напряжения. Корректор неактивной мощности	15

Неуправляемые и управляемые выпрямители, широтно-импульсные преобразователи	Подготовка к лабораторным работам	Силовые диоды, транзисторы и тиристоры. Основные параметры полупроводниковых вентилей. Импульсное регулирование выходного напряжения, его достоинства и недостатки. Однофазный однополупериодный выпрямитель. Однофазный выпрямитель со средней точкой. Однофазный мостовой выпрямитель. Трёхфазный выпрямитель с нулевой точкой. Трёхфазный мостовой выпрямитель. Работа выпрямителей на активную и активно-индуктивную нагрузки. Нереверсивный тиристорный трёхфазный выпрямитель с нулевой точкой. Нереверсивный тиристорный трёхфазный мостовой выпрямитель. Работа управляемых выпрямителей на активную и активно-индуктивную нагрузки. Реверсивный тиристорный однофазный выпрямитель со средней точкой. Реверсивный тиристорный однофазный мостовой выпрямитель. Реверсивный тиристорный трёхфазный выпрямитель с нулевой точкой. Реверсивный тиристорный трёхфазный мостовой выпрямитель. Анализ работы реверсивного мостового ШИП с симметричным и несимметричным управлением.	27
Неуправляемые и управляемые выпрямители, широтно-импульсные преобразователи	Подготовка к экзамену	Силовые диоды, транзисторы и тиристоры. Основные параметры полупроводниковых вентилей. Импульсное регулирование выходного напряжения, его достоинства и недостатки. Однофазный однополупериодный выпрямитель. Однофазный выпрямитель со средней точкой. Однофазный мостовой выпрямитель. Работа выпрямителей на активную и активно-индуктивную нагрузки. Трёхфазный выпрямитель с нулевой точкой. Трёхфазный мостовой выпрямитель. Работа выпрямителей на активную и активно-индуктивную нагрузки. Метод импульсно-фазового регулирования среднего значения выпрямленного напряжения. Нереверсивный тиристорный однофазный выпрямитель со средней точкой. Нереверсивный тиристорный однофазный мостовой выпрямитель. Работа управляемых выпрямителей на активную и активно-индуктивную нагрузки. Работа на активно-индуктивную нагрузку с противо-ЭДС.	49

Преобразователи частоты и устройства плавного пуска	Подготовка к практическим занятиям	Силовая схема преобразователя частоты. Анализ электромагнитных процессов в силовой схеме преобразователя частоты. Пространственно-векторная модуляция. Высоковольтные преобразователи частоты.	13
Преобразователи частоты и устройства плавного пуска	Подготовка к экзамену	Назначение и классификация автономных инверторов напряжения (АИН). Способы формирования и регулирования выходного напряжения в однофазных АИН. Анализ работы однофазного АИН с широтно-импульсной модуляцией. Классификация трехфазных АИН. Способы формирования и регулирования выходного напряжения в трехфазных АИН. АИН с широтно-импульсной модуляцией. Методы построения преобразователей частоты для управления электродвигателями переменного тока. высоковольтные преобразователи частоты. Закон Костенко для управления асинхронным электродвигателем с короткозамкнутым ротором. Устройство плавного пуска.	50
		Итого за семестр:	**154**
		Итого:	**154**

5. Перечень учебной литературы и учебно-методического обеспечения по дисциплине (модулю)

№ п/п	**Библиографическое описание**	**Ресурс НТБ СамГТУ** (ЭБС СамГТУ, IPRbooks и т.д.)
Основная литература		
1	Зиновьев, Г.С. Силовая электроника : учеб. пособие для бакалавров / Г. С. Зиновьев; Новосиб.гос.техн.ун-т .- 5-е изд., испр. и доп..- М., Юрайт, 2015.- 667 с.	Книжный фонд
2	Шустов, М.А. Основы силовой электроники / М.А.Шустов.- СПб., Наука и Техника, 2017.- 335 с.	Книжный фонд
Учебно-методическое обеспечение		
3	Кузнецов, П.К. Силовая электроника : учеб.-метод.пособие / П. К. Кузнецов , В. И. Семавин; Самар.гос.техн.ун-т, Электропривод и промышленная автоматика.- Самара, 2014.- 63 с..- Режим доступа: https://elib.samgtu.ru/getinfo?uid=els_samgtu||elib||1038	Электронный ресурс

Доступ обучающихся к ЭР НТБ СамГТУ (elib.samgtu.ru) осуществляется посредством электронной информационной образовательной среды университета и сайта НТБ СамГТУ по логину и паролю.

6. Перечень информационных технологий, используемых при осуществлении образовательного процесса по дисциплине (модулю), включая перечень программного обеспечения

При проведении лекционных занятий используется мультимедийное оборудование.

Организовано взаимодействие обучающегося и преподавателя с использованием электронной ин-формационной образовательной среды университета.

№ п/п	Наименование	Производитель	Способ распространения
1	NI Multisim	National Instruments (Зарубежный)	Лицензионное

7. Перечень ресурсов информационно-телекоммуникационной сети «Интернет», профессиональных баз данных, информационно-справочных систем

№ п/п	Наименование	Краткое описание	Режим доступа
1	Библиотека учебно-методической литературы системы "Единое окно"	http://window.edu.ru/	Ресурсы открытого доступа
2	Образовательный портал университета	http://info.samgtu.ru/	Ресурсы открытого доступа
3	Электронная библиотека Самарской областной универсальной научной библиотеки	www.lib.smr.ru	Ресурсы открытого доступа
4	Электронная библиотека учебников	http://studentam.net/	Ресурсы открытого доступа
5	Электронно-библиотечная система Лань	www.e.lanbook.com/	Ресурсы открытого доступа

8. Описание материально-технической базы, необходимой для осуществления образовательного процесса по дисциплине (модулю)

Лекционные занятия

Аудитории для лекционных занятий укомплектованы мебелью и техническими средствами обучения, служащими для представления учебной информации большой аудитории, (наборы демонстрационного оборудования (проектор, экран, компьютер/ноутбук), учебно-наглядные пособия, тематические иллюстрации).

Практические занятия

Для практических занятий используется аудитория № 226, учебный корпус № 1, оснащенная персональными компьютерами с установленными на них программами, необходимыми для проведения лабораторных работ (NI Multisim и выше, Microsoft Word).

Лабораторные занятия

Для лабораторных занятий используется аудитория № 226, учебный корпус № 1, оснащенная персональными компьютерами с установленными на них программами, необходимыми для проведения лабораторных работ (NI Multisim и выше, Microsoft Word).

Самостоятельная работа

Помещения для самостоятельной работы оснащены компьютерной техникой с возможностью подключения к сети «Интернет» и доступом к электронной информационно-образовательной среде СамГТУ:

- читальный зал НТБ СамГТУ (ауд. 200 корпус № 8; ауд. 125 корпус № 1; ауд. 41, 31, 34, 35 Главный корпус библиотеки, ауд. 83а, 414, 416, 0209 АСА СамГТУ; ауд. 401 корпус № 10);
- компьютерные классы (ауд. 208, 210 корпус № 8).

9. Методические материалы

Методические рекомендации при работе на лекции

До лекции студент должен просмотреть учебно-методическую и научную литературу по теме лекции с тем, чтобы иметь представление о проблемах, которые будут разбираться в лекции.

Перед началом лекции обучающимся сообщается тема лекции, план, вопросы, подлежащие рассмотрению, доводятся основные литературные источники. Весь учебный материал, сообщаемый преподавателем, должен не просто прослушиваться. Он должен быть активно воспринят, т.е. услышан, осмыслен, понят, зафиксирован на бумаге и закреплен в памяти. Приступая к слушанию нового учебного материала, полезно мысленно установить его связь с ранее изученным. Следя за техникой чтения лекции (акцент на существенном, повышение тона, изменение ритма, пауза и т.п.), необходимо вслед за преподавателем уметь выделять основные категории, законы и определять их содержание, проблемы, предполагать их возможные решения, доказательства и выводы. Осуществляя такую работу, можно значительно облегчить себе понимание учебного материала, его конспектирование и дальнейшее изучение.

Конспектирование лекции позволяет обработать, систематизировать и лучше сохранить полученную информацию с тем, чтобы в будущем можно было восстановить в памяти основные, содержательные моменты. Типичная ошибка, совершаемая обучающимся, дословное конспектирование речи преподавателя. Как правило, при записи «слово в слово» не остается времени на обдумывание, анализ и синтез информации. Отбирая нужную информацию, главные мысли, проблемы, решения и выводы, необходимо сокращать текст, строить его таким образом, чтобы потом можно было легко в нем разобраться. Желательно оставить в рабочих конспектах поля, на которых можно будет делать пометки из рекомендованной литературы, дополняющие материал прослушанной лекции, а также подчеркивающие особую важность тех или иных теоретических положений. С окончанием лекции работа над конспектом не может считаться завершенной. Нужно еще восстановить отдельные места, проверить, все ли понятно, уточнить что-то на консультации и т.п. с тем, чтобы конспект мог быть использован в процессе подготовки к практическим занятиям, зачету, экзамену. Конспект лекции – незаменимый учебный документ, необходимый для самостоятельной работы.

Методические рекомендации при подготовке и работе на практическом занятии

Практические занятия по дисциплине проводятся в целях выработки практических умений и приобретения навыков в решении профессиональных задач.

Рекомендуется следующая схема подготовки к практическому занятию:

1. ознакомление с планом практического занятия, который отражает содержание предложенной темы;
2. проработка конспекта лекции;
3. чтение рекомендованной литературы;
4. подготовка ответов на вопросы плана практического занятия;
5. выполнение тестовых заданий, задач и др.

Подготовка обучающегося к практическому занятию производится по вопросам, разработанным для каждой темы практических занятий и (или) лекций. В процессе подготовки к практическим

занятиям, необходимо обратить особое внимание на самостоятельное изучение рекомендованной литературы.

Работа студентов во время практического занятия осуществляется на основе заданий, которые выдаются обучающимся в начале или во время занятия. На практических занятиях приветствуется активное участие в обсуждении конкретных ситуаций, способность на основе полученных знаний находить наиболее эффективные решения поставленных проблем, уметь находить полезный дополнительный материал по тематике занятий. Обучающимся необходимо обращать внимание на основные понятия, алгоритмы, определять практическую значимость рассматриваемых вопросов. На практических занятиях обучающиеся должны уметь выполнить расчет по заданным параметрам или выработать определенные решения по обозначенной проблеме. Задания могут быть групповые и индивидуальные. В зависимости от сложности предлагаемых заданий, целей занятия, общей подготовки обучающихся преподаватель может подсказать обучающимся алгоритм решения или первое действие, или указать общее направление рассуждений. Полученные результаты обсуждаются с позиций их адекватности или эффективности в рассмотренной ситуации.

Методические рекомендации при работе на лабораторном занятии

Проведение лабораторной работы делится на две условные части: теоретическую и практическую.

Необходимыми структурными элементами занятия являются проведение лабораторной работы, проверка усвоенного материала, включающая обсуждение теоретических основ выполняемой работы.

Перед лабораторной работой, как правило, проводится технико-теоретический инструктаж по использованию необходимого оборудования. Преподаватель корректирует деятельность обучающегося в процессе выполнения работы (при необходимости). После завершения лабораторной работы подводятся итоги, обсуждаются результаты деятельности.

Возможны следующие формы организации лабораторных работ: фронтальная, групповая и индивидуальная. При фронтальной форме выполняется одна и та же работа (при этом возможны различные варианты заданий). При групповой форме работа выполняется группой (командой). При индивидуальной форме обучающимися выполняются индивидуальные работы.

По каждой лабораторной работе имеются методические указания по их выполнению, включающие необходимый теоретический и практический материал, содержащие элементы и последовательную инструкцию по проведению выбранной работы, индивидуальные варианты заданий, требования и форму отчётности по данной работе.

Методические рекомендации по выполнению самостоятельной работы

Организация самостоятельной работы обучающихся ориентируется на активные методы овладения знаниями, развитие творческих способностей, переход от поточного к индивидуализированному обучению с учетом потребностей и возможностей обучающегося.

Самостоятельная работа с учебниками, учебными пособиями, научной, справочной литературой, материалами периодических изданий и Интернета является наиболее эффективным методом получения дополнительных знаний, позволяет значительно активизировать процесс овладения информацией, способствует более глубокому усвоению изучаемого материала. Все новые понятия по изучаемой теме необходимо выучить наизусть и внести в глоссарий, который целесообразно вести с самого начала изучения курса.

Самостоятельная работа реализуется:

- непосредственно в процессе аудиторных занятий;
- на лекциях, практических занятиях;
- в контакте с преподавателем вне рамок расписания;
- на консультациях по учебным вопросам, в ходе творческих контактов, при ликвидации задолженностей, при выполнении индивидуальных заданий и т.д.;
- в библиотеке, дома, на кафедре при выполнении обучающимся учебных и практических задач.

Эффективным средством осуществления обучающимся самостоятельной работы является электронная информационно-образовательная среда университета, которая обеспечивает доступ к учебным планам, рабочим программам дисциплин (модулей), практик, к изданиям электронных

библиотечных систем.

10. Фонд оценочных средств по дисциплине (модулю)

Фонд оценочных средств представлен в приложении № 1.

Приложение 1 к рабочей программе дисциплины
Б1.В.03.02 «Силовая электроника»

Фонд оценочных средств
по дисциплине
Б1.В.03.02 «Силовая электроника»

Код и направление подготовки (специальность)	13.03.02 Электроэнергетика и электротехника
Направленность (профиль)	Электромеханика
Квалификация	Бакалавр
Форма обучения	Заочная
Год начала подготовки	2023
Институт / факультет	Электротехнический факультет
Выпускающая кафедра	кафедра "Электромеханика и автомобильное электрооборудование"
Кафедра-разработчик	кафедра "Электромеханика и автомобильное электрооборудование"
Объем дисциплины, ч. / з.е.	180 / 5
Форма контроля (промежуточная аттестация)	Экзамен

Перечень планируемых результатов обучения по дисциплине (модулю), соотнесенных с планируемыми результатами освоения образовательной программы

Наименование категории (группы) компетенций	Код и наименование компетенции	Код и наименование индикатора достижения компетенции	Результаты обучения (знать, уметь, владеть, соотнесенные с индикаторами достижения компетенции)
Профессиональные компетенции			
Не предусмотрено	ПК-1 Способен участвовать в проектировании электротехнических систем и их компонентов	ПК-1.1 Обосновывает выбор методов исследования электротехнических устройств	Владеть программными средствами анализа устройств силовой электроники
			Знать основные характеристики и особенности применения силовых полупроводниковых приборов, классификацию, назначение, схемотехнические решения и области применения основных преобразовательных устройств, принципы и особенности составления проектов
			Уметь анализировать работу преобразовательных устройств, использовать полученные знания при решении практических задач по проектированию, испытаниям и эксплуатации устройств силовой электроники
		ПК-1.4 Использует технологии разработки технической документации электротехнических устройств	Владеть навыками использования государственных стандартов, технических условий, других нормативных и руководящих материалов при проектировании электротехнических комплексов
			Знать технологии разработки технической документации электротехнических устройств
			Уметь составлять техническую документацию

Матрица соответствия оценочных средств запланированным результатам обучения

Код и наименование индикатора достижения компетенции	Планируемые результаты обучения (знания, умения, владения)	Оценочные средства	Текущий контроль успеваемости	Промежуточная аттестация
Неуправляемые и управляемые выпрямители, широтно-импульсные преобразователи				
ПК-1.1 Обосновывает выбор методов исследования электротехнических устройств	Знать основные характеристики и особенности применения силовых полупроводниковых приборов, классификацию, назначение, схемотехнические решения и области применения основных преобразовательных устройств, принципы и особенности составления проектов	Список вопросов к экзамену	Нет	Да
	Уметь анализировать работу преобразовательных устройств, использовать полученные знания при решении практических задач по проектированию, испытаниям и эксплуатации устройств силовой электроники	Вопросы для собеседования по практическим занятиям	Да	Нет
	Владеть программными средствами анализа устройств силовой электроники	Отчёты по лабораторным работам	Да	Нет
Преобразователи частоты и устройства плавного пуска				
ПК-1.1 Обосновывает выбор методов исследования электротехнических устройств	Знать основные характеристики и особенности применения силовых полупроводниковых приборов, классификацию, назначение, схемотехнические решения и области применения основных преобразовательных устройств, принципы и особенности составления проектов	Список вопросов к экзамену	Нет	Да
	Уметь анализировать работу преобразовательных устройств, использовать полученные знания при решении практических задач по проектированию, испытаниям и эксплуатации устройств силовой электроники	Вопросы для собеседования по практическим занятиям	Да	Нет
	Владеть программными средствами анализа устройств силовой электроники	Отчёты по лабораторным работам	Да	Нет

Типовые контрольные задания или иные материалы для оценки знаний, умений, навыков и (или) опыта деятельности, характеризующие процесс формирования компетенций

1. Вопросы для собеседования по практическим занятиям

Практическое занятие №1

- Привести схему заданного варианта однофазного неуправляемого выпрямителя.
- Описать работу заданного варианта неуправляемого выпрямителя.
- Вывести выражения для определения среднего за период значения напряжения и тока нагрузки для заданного варианта выпрямителя.

Практическое занятие №2

- Выбор элементов силовой схемы однофазного неуправляемого выпрямителя.
- Построение регулировочной характеристики однофазного неуправляемого выпрямителя.

Практическое занятие №3

- Привести схему заданного варианта трехфазного управляемого выпрямителя.
- Описать работу заданного варианта управляемого выпрямителя.
- Вывести выражения для определения среднего за период значения напряжения и тока нагрузки для заданного варианта выпрямителя.

Практическое занятие №4

- Выбор элементов силовой схемы трёхфазного управляемого выпрямителя.
- Построение регулировочной характеристики трёхфазного управляемого выпрямителя.
- Влияние управляемых выпрямителей на питающую сеть.
- Способы уменьшения влияния управляемых выпрямителей на питающую сеть.

Практическое занятие №5

- Описание работы широтно-импульсного преобразователя постоянного напряжения при симметричном способе управления силовыми транзисторами.
- Описание работы широтно-импульсного преобразователя постоянного напряжения при несимметричном способе управления силовыми транзисторами.

Практическое занятие №6

- Выбор элементов силовой схемы широтно-импульсного преобразователя постоянного напряжения.
- Вывести выражения для определения среднего за период значения напряжения и тока нагрузки для заданного варианта широтно-импульсного преобразователя.

Практическое занятие №7

- Автономные инверторы и преобразователи частоты.
- Описание работы однофазного автономного инвертора напряжения.
- Методика расчета автономного инвертора напряжения.
- Способы построения преобразователей частоты.

Практическое занятие №8

- Трёхфазные автономные инверторы напряжения.
- Выбор элементов силовой схемы автономного инвертора напряжения.
- Влияние преобразователей частоты на питающую сеть и на нагрузку.
- Способы уменьшения влияния преобразователей частоты на питающую сеть и на нагрузку.

2. Типовые контрольные задания на самостоятельную работу студентов

Министерство образования и науки Российской Федерации
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Самарский государственный технический университет»

ТИПОВЫЕ КОНТРОЛЬНЫЕ ЗАДАНИЯ

НА САМОСТОЯТЕЛЬНУЮ РАБОТУ СТУДЕНТОВ

по дисциплине Б1.В.03.02 «Силовая электроника»

для направления 13.03.02 «Электроэнергетика и электротехника»,

профили:
«Электромеханика»,
«Электропривод и автоматика промышленных установок и технологических комплексов»,
«Электротехнологические установки и системы».
«Электрическое и электронное оборудование автомобилей и электромобилей»

Самара 20____

Типовое контрольное задание №1.

Расчет выпрямителя

В преобладающем большинстве конструкций блоков питания используется двухполупериодный выпрямитель, диоды которого включены по мостовой схеме (рис. 1). Рассчитать выпрямитель - значит правильно выбрать выпрямительные диоды и конденсатор фильтра, а также определить необходимое переменное напряжение, снимаемое для выпрямления с вторичной обмотки сетевого трансформатора. Исходными данными для расчета выпрямителя служат: требуемое напряжение на нагрузке *($U_н$)* и потребляемый ею максимальный ток *($I_н$)*.

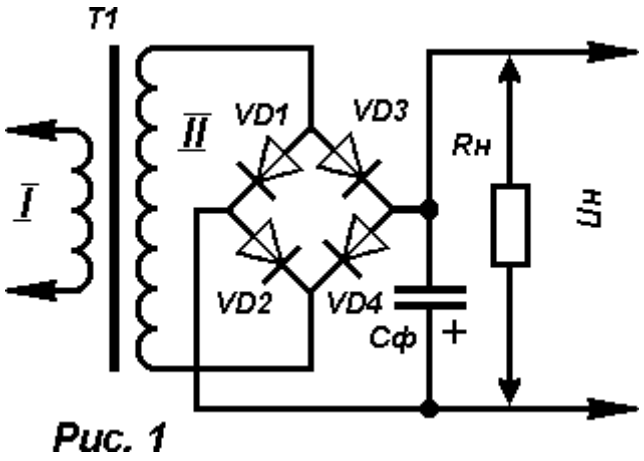


Рис. 1

Расчет ведут в таком порядке:

1. Определяют переменное напряжение, которое должно быть на вторичной обмотке сетевого трансформатора:

$$U_2 = B\ U_н,$$

где: $U_н$ - постоянное напряжение на нагрузке, В;
В - коэффициент, зависящий от тока нагрузки, который определяют по Таблице 1.

Таблица 1

Коэффициент	**Ток нагрузки,*А***					
	0,1	0,2	0,4	0,6	0,8	1,0
В	*0,8*	*1,0*	*1,9*	*1,4*	*1,5*	*1,7*
С	*2,4*	*2,2*	*2,0*	*1,9*	*1,8*	*1,8*

2. По току нагрузки определяют максимальный ток, текущий через каждый диод выпрямительного моста:

$$I_д = 0,5\ C\ I_н,$$

где: $I_д$ - ток через диод, А;
$I_н$ - максимальный ток нагрузки, А;
С - коэффициент, зависящий от тока нагрузки (определяют по табл. 1).

3. Подсчитывают обратное напряжение, которое будет приложено к каждому диоду выпрямителя:

$$U_{обр} = 1,5\ U_н,$$

где: $U_{обр}$ - обратное напряжение, В;
$U_н$ - напряжение на нагрузке, В.

4. Выбирают диоды, у которых значения выпрямленного тока и допустимого обратного напряжения равны или превышают расчетные.

5. Определяют емкость конденсатора фильтра:

$$C_ф = 3200\ I_н / U_н\ K_п,$$

где: $C_ф$ - емкость конденсатора фильтра, мкФ;
$I_н$ - максимальный ток нагрузки. А;
$U_н$ - напряжение на нагрузке, В;
$K_п$ - коэффициент пульсации выпрямленного напряжения (отношение амплитудного значения переменной составляющей частотой 100 Гц на выходе выпрямителя к среднему значению выпрямленного напряжения).

Для различных нагрузок коэффициент пульсаций не должен превышать определенного значения.

Выбрать диоды и конденсатор выпрямителя в соответствии с заданным вариантом.

No	$U_н$	$I_н$	$K_п$
1	3,3	10	0,01
2	5	5	0,02
3	9	1	0,03
4	15	1	0,04
5	24	0,5	0,05
6	36	0,5	0,06
7	100	0,1	0,07
8	200	0,1	0,08
9	3,3	1	0,09
10	5	2	0,1
11	9	3	0,09
12	15	4	0,08
13	24	5	0,07
14	36	6	0,06
15	100	7	0,05
16	200	8	0,04

17	3,3	0,5	0,03
18	5	1,0	0,02
19	9	1,5	0,01
20	15	2,0	0,02
21	24	2,5	0,05
22	36	3,0	0,06
23	100	2	0,08
24	200	4	0,1
25	3,3	6	0,01
26	5	8	0,001
27	9	10	0,005
28	15	10	1,0
29	24	10	1,5
30	36		

Типовое контрольное задание №2

Выбор тиристоров тиристорного преобразователя.

Выбор тиристоров осуществляется по максимально допустимым току и напряжению.

Максимально допустимое значение тока, протекающего через тиристор, определяется максимально допустимой температурой полупроводниковой структуры, которая зависит от значения и формы тока, протекающего через тиристор, а также условий его охлаждения.

В паспортных данных на тиристоры указывается предельное (максимально допустимое среднее за период) значение тока $I_п$, длительно протекающего через тиристор. Это значение тока дается для классификационной схемы, в качестве которой выбрана схема однофазного однополупериодного управляемого выпрямителя с активной нагрузкой. Предельное значение тока для классификационной схемы определяется при частоте питающей сети 50 Гц, угле проводимости $\lambda=180^0$, максимально допустимой температуре полупроводниковой структуры и максимально допустимой температуре корпуса. В классификационной схеме при активной нагрузке ток тиристора имеет синусоидальную форму (рис. 2); отношение максимального (амплитудного) значения тока I_{max} к среднему значению тока на выходе выпрямителя $I_{ср}$ (для данной схемы предельному), т.е. коэффициент амплитуды, $k_a= I_{max} /I_{ср} =3,14$, а отношение действующего значения тока $I_{действ}$ тиристора к среднему значению тока $I_{ср}$ тиристора, т.е. коэффициент формы тока для классификационной схемы, $k_{фк}=I_{действ}/I_{ср}=1,57$.

В тиристорных преобразователях, работающих на якорь или обмотку возбуждения двигателя постоянного тока с независимым возбуждением, условия работы тиристора отличаются от тех, для которых в паспорте указывается предельное значение тока $I_п$. Так, интервал проводимости λ может отличаться от 180^0, а форма тока через тиристор отличается от синусоидальной. Например, в трехфазных схемах управляемого выпрямителя при работе в области

непрерывных токов ток тиристора имеет форму, близкую к прямоугольной, а интервал проводимости $\lambda=120^0$.

В табл. 2 приведены значения коэффициентов формы тока $k_Ф$ и амплитуды k_a для синусоидальной и прямоугольной форм тока тиристора, а также для значений угла проводимости λ, отличающихся от классификационной схемы. Как видно из табл. 1, с уменьшением угла проводимости λ возрастают отношения действующего значения тока (коэффициент формы тока $k_ф$) и максимального тока (коэффициент амплитуды k_a) к среднему значению тока.

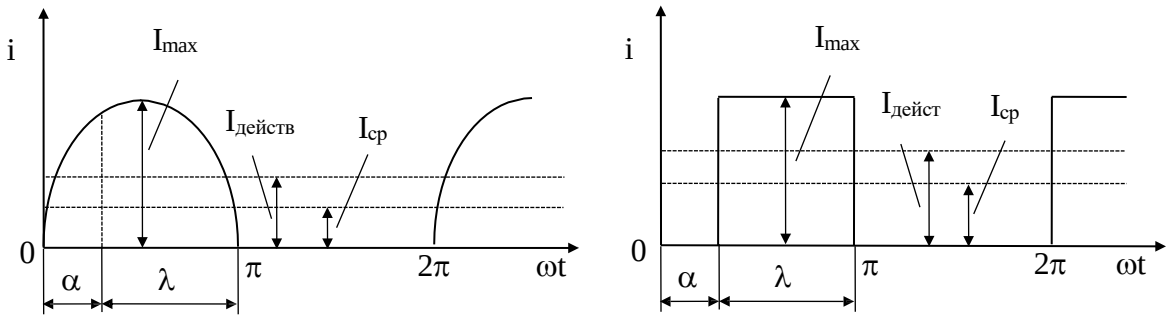


Рис. 2. Синусоидальная и прямоугольная формы тока *Таблица 2*

Зависимость коэффициентов $k_ф$ и k_a от угла проводимости λ

Синусоидальная форма тока			Прямоугольная форма тока		
λ	$k_Ф=I_{действ}/I_{ср}$	$k_a=I_{max}/I_{ср}$	λ	$k_Ф=I_{действ}/I_{ср}$	$k_a=I_{max}/I_{ср}$
180^0	1,57	3,14	180^0	1,41	2
120^0	1,87	4,19	120^0	1,73	3
90^0	2,22	6,28	90^0	2,0	4
60^0	2,77	10,7	60^0	2,45	6
30^0	3,99	23,3	30^0	3,46	12

Интервал λ проводимости тиристора (интервал, в течение которого тиристор находится в проводящем состоянии) наиболее просто определяется при работе управляемого выпрямителя в области непрерывных токов. Так, например, в управляемых выпрямителях без нулевого диода интервал проводимости для однофазных двухполупериодных схем $\lambda=180^0$, а для трехфазных схем с нулевой точкой и трехфазных мостовых $\lambda=120^0$.

Расчетное предельное значение тока тиристора $I_{пр}$ вычисляется из выражения

$$I_{пр} = k_{зі} \frac{k_ф}{k_{фк}} k_{охл} I_{ср} ,$$

(5)

где $k_{зі}$ - коэффициент запаса по току, который, исходя из надежности работы

тиристора, устанавливается равным 1,25 - 1,4; $k_ф$ - коэффициент формы тока для заданной схемы выпрямления и соответствующего этой схеме угла проводимости (находится из табл. 2); $k_{фк}$ - коэффициент формы тока для классификационной схемы выпрямления, $k_{фк}=1{,}57$; $k_{охл}$ - коэффициент, учитывающий условия охлаждения тиристоров (при стандартном радиаторе, воздушном охлаждении и скорости охлаждающего воздуха $V_{охл}$=0 $k_{охл}$≈2,5; при $V_{охл}$=12 м/с $k_{охл}$≈1); $I_{ср}$ - среднее значение тока, протекающего через тиристор.

Среднее значение тока $I_{ср}$, протекающего через тиристор, зависит от тока нагрузки, формы тока и угла проводимости тиристора:

$$I_{ср} = \frac{I_{d\max}}{k_a}, \qquad (6)$$

где $I_{d\max}$ - максимальное значение тока нагрузки; $k_a = \frac{I_{действ}}{I_{ср}}$ - коэффициент, значение которого зависит от формы тока и угла проводимости тиристора (k_a находится из табл. 2).

Для активно-индуктивной нагрузки в области непрерывных токов максимальное значение тока

$$I_{d\max} = \frac{U_{d\max}}{R_н}, \qquad (7)$$

где U_{dmax} - максимальное значение напряжения на активно-индуктивной нагрузке; $R_н$ - активное сопротивление активно-индуктивной нагрузки.

При работе тиристорного преобразователя на якорь электродвигателя максимальное значение тока нагрузки равно номинальному значению тока якоря $I_{ян}$:

$$I_{d\max} = I_{ян} = \frac{P_н}{\eta_н \times U_{ян}}, \qquad (8)$$

где $\eta_н$ - паспортное значение КПД электродвигателя.

По вычисленному в (5) предельному значению тока $I_{пр}$ выбирается тиристор так, чтобы паспортное значение предельного значения тока тиристора $I_п$ было не меньше $I_{пр}$:

$$I_п \geq I_{пр}. \qquad (9)$$

При выборе тиристоров по напряжению необходимо исходить из напряжения холостого хода (ЭДС) преобразователя с учетом возможного повышения напряжения питающей сети (обычно 10-15%).

В паспортных данных на тиристоры указывается повторяющееся напряжение $U_п$, определяемое как максимально допустимое мгновенное значение напряжения, прикладываемое к тиристору. Расчетное значение повторяющегося напряжения $U_{пр}$ зависит от номинального напряжения на нагрузке и выбирается с некоторым запасом:

$$U_{пр} = k_u k_{зи} k_c k_\alpha k_r U_{dн} \ , \qquad (10)$$

где $k_u = U_{B\,max} / E_{do}$ - коэффициент, зависящий от схемы выпрямления (табл. 3); $k_{зи}$ - коэффициент запаса по напряжению, учитывающий возможное перенапряжение на тиристорах (обычно $k_{зи}$ =1,3 - 1,5); k_c - коэффициент, учитывающий возможное понижение напряжения сети переменного тока, численное значение коэффициента k_c обычно принимается равным 1,05 - 1,1, что соответствует снижению напряжения на 5-10% от номинального значения); k_α - коэффициент запаса по напряжению, учитывающий неполное открытие тиристоров при максимальном управляющем сигнале (например при согласованном управлении), обычно k_α=1-1,15; k_r - коэффициент, учитывающий падение напряжения в управляемом выпрямителе (можно принять $k_r \approx 1{,}05$); $U_{dн}$ - номинальное значение напряжения на нагрузке (берется из задания).

По расчетному значению повторяющегося напряжения $U_{пр}$ находится паспортное значение повторяющегося напряжения $U_п$ из условия

$$U_п \geq U_{пр}. \qquad (11)$$

Часто в справочных данных на тиристоры указывается класс тиристора. Требуемый класс тиристора находится из условия

КЛАСС ТИРИСТОРА = Ближайшее большее ($U_п$ /100 В). (12)

Тип тиристоров выбирается из справочников.

Типовое контрольное задание №3

Расчет параметров силового трансформатора тиристорного преобразователя.

Силовой трансформатор питания тиристорного преобразователя выбирается по расчетным значениям мощности $S_{тр}$, ЭДС $E_{2ф}$ вторичной обмотки, фазных токов

$I_{1ф}$ и $I_{2ф}$ соответственно в первичной и вторичной обмотках.

Расчетное значение ЭДС $E_{2Ф}$ для режима непрерывного тока управляемого выпрямителя находится по требуемому значению среднего значения выпрямленного напряжения U_d:

$$E_{2ф} = \frac{1}{E_{d0} / E_{2ф}} k_c \; k_\alpha \; k_r \; U_{dн}\,, \tag{13}$$

где $E_{d0}/E_{2ф}$ - коэффициент, зависящий от схемы выпрямления (см. табл. 3); k_α, k_c, k_r и $U_{dн}$ - параметры, определенные в уравнении (10).

Расчетное действующее значение фазного тока $I_{2Ф}$ вторичной обмотки определяется по величине выпрямленного тока I_d:

$$I_{2ф} = k_i k_{i2} \; I_d\,, \tag{14}$$

где k_i - коэффициент, учитывающий отклонение формы тока от прямоугольной (обычно k_i=1,05-1,1); $k_{i2} = I_{2Ф}/I_d$ - коэффициент, зависящий от схемы выпрямления (см. табл. 3).

Коэффициент трансформации

$$k_{mp} = \frac{w_1}{w_2} \approx 0{,}95 \frac{U_{1ф}}{E_{2ф}}, \tag{15}$$

где w_1 и w_2 - числа витков соответственно первичной и вторичной обмоток; $U_{1Ф}$ - номинальное значение фазного напряжения питающей сети переменного тока.

Расчетное действующее значение фазного тока $I_{1Ф}$ первичной обмотки определяется по току нагрузки с учетом коэффициента трансформации:

$$I_{1ф} = \frac{k_i k_{I1} \; I_d}{k_{mp}}, \tag{16}$$

где $k_{i1}=I_{1Ф}/I_d$ - коэффициент, зависящий от схемы выпрямления (см. табл. 3).

Расчетное значение мощности трансформатора

$$S_{mp} = k_u \; k_c \; k_a \; k_r \; k_s \; U_{dн} \; I_{dн}\,, \tag{17}$$

где k_u, k_c, k_α, k_R и $U_{dн}$ определены в уравнении (10); $k_s=S_{mp}/(E_{d0} I_d)$ - коэффициент схемы (см. табл. 3); $I_{d\,н}$ - номинальное значение тока нагрузки.

Трансформатор выбирается по типовой мощности и следующим параметрам:

$$S_{тр};\quad U_{2фн} = 0{,}95\ E_{2ф};\quad I_{2фн} = I_{2Ф};\quad U_{1фн} = U_{сф}, \tag{18}$$

где $U_{2фн}$ - номинальной фазное напряжение вторичной обмотки трансформатора; $I_{2фн}$ - номинальное значение фазного тока вторичной обмотки трансформатора; $U_{1фн}$ - номинальное фазное напряжение первичной обмотки трансформатора; $U_{сф}$ - фазное напряжение питающей сети.

Индуктивное $x_{тр.ф}$ и активное $r_{тр.ф}$ сопротивления трансформатора, приведенные к его вторичной обмотке, находятся из выражений

$$x_{тр.ф} = \frac{U_к U_{1фн}}{100\ I_{1н} k_{тр}^2};\quad r_{тр.ф} = \frac{\Delta P_{кз}}{m_ф I_{1фн}^2 k_{тр}^2}, \tag{19}$$

где $U_к$ - напряжение короткого замыкания в процентах (можно принять U_K=3-5%, при этом меньшее значение соответствует трансформаторам большой мощности); $I_{1фн}$ - номинальное значение тока первичной обмотки трансформатора; $\Delta P_{кз}$ - потери мощности при коротком замыкании (можно принять $\Delta P_{кз}$=2-3% от номинальной мощности трансформатора, при этом меньшее значение соответствует трансформаторам большой мощности); $m_ф$ - число фаз вторичной обмотки.

Таблица 3

Основные показатели схем выпрямления

Схемы выпрямления	$E_{d0}/E_{2Ф}$	$k_u=U_{B\,max}/E_{d0}$	$k_{I1}=I_1/(I_d k_{тр})$	$k_S=S_{тр}/(E_{d0}I_d)$	$k_{I2}=I_2/I_d$
Однофазная двухполупериодная с нулевой точкой (m=2)	0,9	3,14	1,0	1,34	0,707
Однофазная мостовая (m=2)	0,9	1,57	1,0	1,11	1,0
Трехфазная нулевая с включением вторичной обмотки трансформатора по схеме «звезда»	1,17	2,09	0,471	1,345	0,577
Трехфазная нулевая с включением вторичной обмотки трансформатора по схеме «зигзаг»	1,17	2,09	0,471	1,46	0,577
Трехфазная мостовая	2,34	1,045	0,815	1,045	0,815

В таблице приведены следующие данные:

E_{d0} - максимальное значение ЭДС на выходе тиристорного преобразователя;

$E_{2Ф}$ - фазная ЭДС на вторичной обмотке трансформатора;

$U_{B\,max}$ - максимальное напряжение на вентиле;

I_1 и I_2 - действующие значения токов первичной и вторичной обмоток трансформатора;

I_d - среднее значение тока нагрузки;

$k_{тр}$ - коэффициент трансформации;

$S_{тр}$ - типовая мощность трансформатора.

Типовое контрольное задание №4

Расчет индуктивности уравнительных реакторов тиристорного преобразователя.

Уравнительные реакторы служат для ограничения уравнительных токов при совместном согласованном управлении двумя комплектами тиристоров. Требуемая суммарная индуктивность двух уравнительных реакторов

$$L_{ур} = \frac{k_д E_{2m}}{\omega_c I_{ур}}, \quad (20)$$

где $k_д$ - коэффициент, характеризующий отношение действующего значения уравнительной ЭДС к амплитудному значению вторичной ЭДС и зависящий от схемы выпрямления, схемы соединения групп вентилей и угла регулирования α (максимальные значения $k_д$: для трехфазной нулевой перекрестной схемы $k_д$=0,38 при $\alpha=30^0$; для трехфазной нулевой и трехфазной мостовой встречно-параллельных схем $k_д$=0,62 при $\alpha=60^0$; для трехфазной мостовой перекрестной схемы $k_д$=0,18 при $\alpha=60^0$); $\omega_c=2\pi f_c$, где f_c - частота питающей сети; E_{2m} - амплитуда вторичной ЭДС (для нулевых схем - фазной, для мостовых - линейной); $I_{ур}$ - действующее значение статического уравнительного тока (обычно $I_{ур} \le 0.1\ I_н$); для ненасыщающихся (с большим воздушным зазором), частично насыщающихся и насыщающихся уравнительных реакторов индуктивность каждого из них $L_{ур1}$ берется равной соответственно $L_{ур1}=L_{ур}/2$, $L_{ур1}=0.7$, $L_{ур}$ и $L_{ур1}=L_{ур}$.

Расчет индуктивности сглаживающего реактора тиристорного преобразователя.

Сглаживающий реактор включается последовательно с якорем двигателя для обеспечения непрерывности тока или (и) для ограничения амплитуды пульсаций тока якоря двигателя.

Индуктивность сглаживающего реактора $L_{ср}$ находится из выражения

$$L_{ср} = L_{сум} - L_я - L_{тр} - L_{ур}, \quad (21)$$

где $L_{сум}$ - суммарная индуктивность якорной цепи, необходимая для обеспечения требуемого уровня пульсаций или непрерывности вы-прямленного тока; $L_я$ - индуктивность якоря двигателя; $L_{тр}$ – расчет-ная индуктивность трансформатора,

приведенная к цепи выпрямленного тока; $L_{ур}$ - индуктивность уравнительных реакторов (индуктивность уравнительных реакторов можно не учитывать, если они выполнены насыщающимися).

Выбор отдельных составляющих выражения (21) приведен ниже.

Суммарная индуктивность якорной цепи $L_{яц}$ выбирается по наи-большему значению из расчетных значений индуктивности $L_{непр}$ и $L_{пульс}$, необходимых соответственно для обеспечения режима непре-рывного тока и для обеспечения заданного коэффициента пульсаций:

$$L_{яц} \geq MAX(L_{непр}, L_{пульс}). \tag{22}$$

Индуктивность $L_{непр}$ выбирается из условия непрерывности тока якоря в диапазоне от I_{min} до I_{max} и изменения угла регулирования α от α_{min} до α_{max}. При этом амплитуда переменной составляющей тока яко-ря должна быть меньше I_{min}. Для выполнения этих условий индуктивность $L_{непр}$ должна удовлетворять условию

$$L_{непр} \geq \frac{\sqrt{2}U_n}{m\omega_c I_{m\min}}, \tag{23}$$

где $U_п$ - действующее значение переменной составляющей выпрямленного напряжения; m - число фаз выпрямления (m=3 для трехфазных схем с нулевой точкой и m=6 для трехфазных мостовых схем); $\omega_c = 2\pi f_c$, где f_c - частота питающей сети; $I_{m\,min}$ - минимальное значение выпрямленного тока.

Максимальная величина действующего значения переменной составляющей выпрямленного напряжения

$$U_{n\max} = \frac{kU_{d0}}{\sqrt{2}}, \tag{24}$$

где k - коэффициент, зависящий от схемы выпрямления и угла регу-лирования α (для трехфазной нулевой и трехфазной мостовой встречно-параллельных схем преобразователя максимальное значе-ние k=0,35); U_{d0} - среднее значение выпрямленного напряжения при угле регулирования $\alpha = 0^0$.

Индуктивность, необходимая для ограничения пульсаций тока нагрузки,

$$L_{пульс} = \frac{K_{\varphi\ \max}\, r_э}{K_n\ \omega_c}, \tag{25}$$

где $K_{\varphi\ max}$ - максимальное значение обобщенного параметра K_φ ($K_{\varphi\ max}$=6,05 для трехфазной схемы с нулевой точкой и 1,4 - для трехфаз-ной мостовой схемы); $K_п=(i_{я\ max}-i_{я\ min})/I_я$ - заданное значение коэффи-циента пульсаций (обычно $K_п$=0,02 ÷ 0,15); $r_{яц}$ - суммарное активное сопротивление якорной цепи; $\omega_c=2\pi f_c$, где f_c - частота

питающей сети.

Суммарное активное сопротивление якорной цепи

$$r_{яц} = ar_{тр.ф} + ar_{д} + r_{я}, \quad (26)$$

где a=1 для трехфазной нулевой схемы и a=2 для трехфазной мосто-вой схемы; $r_{тр.ф}$ - активное сопротивление вторичной обмотки транс-форматора (19); $r_{д}$ - дифференциальное сопротивление тиристора; $r_{я}$ - активное сопротивление обмотки якоря электродвигателя.

Индуктивность $L_{я}$ якоря электродвигателя может быть определена по формуле

$$L_{я} = \frac{kU_{н}}{p\omega_{н}I_{н}}, \quad (27)$$

где k=0,5÷0,6 для некомпенсированных электродвигателей и k=0,1 для компенсированных электродвигателей; p - число пар полюсов электродвигателя; $\omega_{н}=2\pi n/60$ - номинальная частота вращения электродвигателя, рад/с; n - номинальная частота вращения электродвигателя, об/мин; $U_{н}$ и $I_{н}$ - номинальное напряжение и ток якоря электродвигателя.

Индуктивность трансформатора

$$L_{тр} = \frac{aX_{тр}}{\omega_{с}}, \quad (28)$$

где a=1 для трехфазной нулевой схемы и a=2 - для мостовой; $X_{тр}$ - индуктивное сопротивление трансформатора; $\omega_{с}=2\pi f_{с}$, где $f_{с}$ - частота питающей сети.

Сведения о контрольных точках

№ контр. точки	Наименование оценочного средства	Вес оценочного средства	Критерии оценки	Дата сдачи контрольной точки
1	Типовое контрольное задание 1	25%	Полнота и точность ответов; качество оформления отчетов; своевременность представления отчетов	На лабораторной работе №2
2	Типовое контрольное задание 2	25%		На лабораторной работе №4
3	Типовое контрольное задание 3	25%		На лабораторной работе №6
4	Типовое контрольное задание 4	25%		На лабораторной работе №8

3. ПЕРЕЧЕНЬ ВОПРОСОВ К ЭКЗАМЕНУ ПО ДИСЦИПЛИНЕ «СИЛОВАЯ ЭЛЕКТРОНИКА»

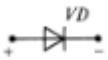
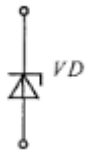
1. Неуправляемый однофазный выпрямитель со средней точкой.
2. Неуправляемый однофазный мостовой выпрямитель.
3. Неуправляемый трёхфазный выпрямитель со нулевой точкой.
4. Неуправляемый трёхфазный мостовой выпрямитель.
5. Управляемый нереверсивный однофазный выпрямитель со средней точкой.
6. Управляемый нереверсивный однофазный мостовой выпрямитель.
7. Управляемый нереверсивный трёхфазный выпрямитель со нулевой точкой.
8. Управляемый нереверсивный трёхфазный мостовой выпрямитель.
9. Управляемый реверсивный однофазный выпрямитель со средней точкой.
10. Управляемый реверсивный однофазный мостовой выпрямитель.
11. Управляемый реверсивный трёхфазный выпрямитель со нулевой точкой.
12. Управляемый реверсивный трёхфазный мостовой выпрямитель.
13. Преобразователь частоты для управления асинхронным двигателем с короткозамкнутым ротором.
14. Автономный инвертор напряжения в составе преобразователя частоты.
15. Корректор коэффициента мощности.
16. Повышающий импульсный стабилизатор напряжения.
17. Понижающий импульсный стабилизатор напряжения.
18. Инвертирующий импульсный стабилизатор напряжения.
19. Прямоходовый импульсный стабилизатор напряжения.
20. Обратноходовый импульсный стабилизатор напряжения.
21. Транзисторный каскад с общим эмиттером.
22. Транзисторный каскад с общим коллектором.
23. Инвертор напряжения ведомый сетью.
24. Биполярные транзисторы.
25. Полевые транзисторы с pn-переходом.
26. Полевые транзисторы с изолированным затвором и собственным каналом
27. Полевые транзисторы с изолированным затвором и индуцированным каналом
28. Биполярные транзисторы с изолированным затвором (IGBT).
29. Широтно-импульсный преобразователь с симметричным управлением
30. Широтно-импульсный преобразователь с несимметричным управлением
31. Широтно-импульсные модулированные сигналы
32. Ключевой режим работы транзисторов.

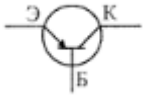
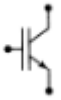
Тесты по компетенциям

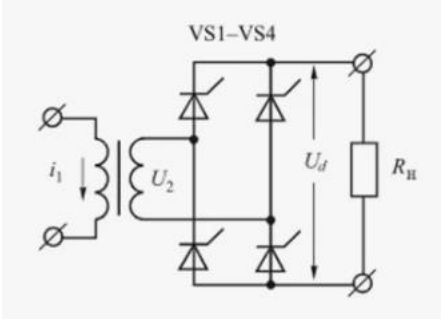
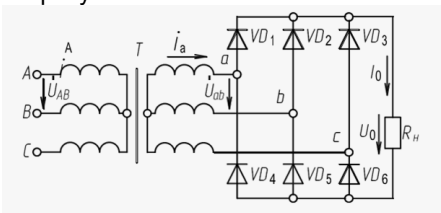
Направление подготовки: 13.03.02 Электроэнергетика и электротехника

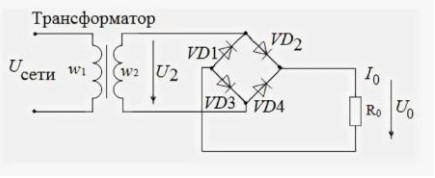
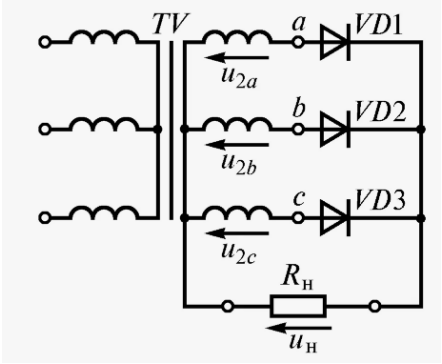
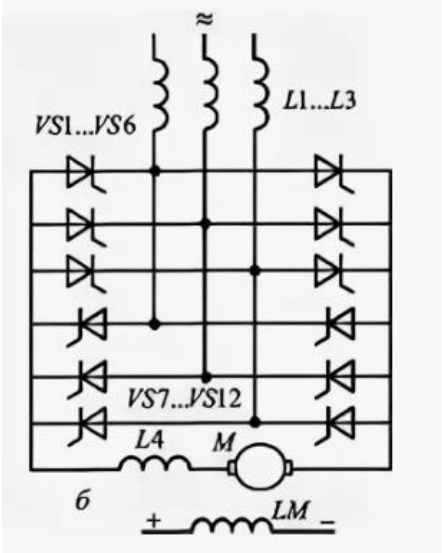
Профили:
Электропривод и автоматика промышленных установок,
и технологических комплексов,
Электромеханика,
Электротехнологические установки и системы,
Электрическое и электронное оборудование автомобилей и электромобилей

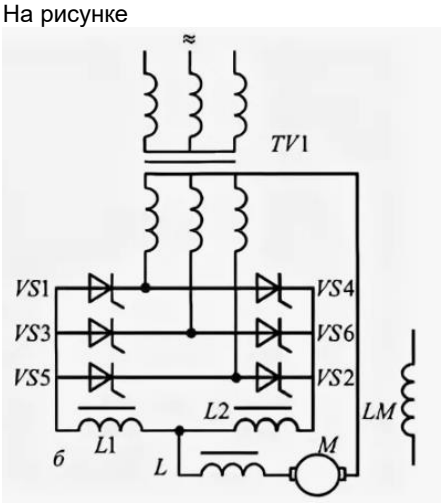
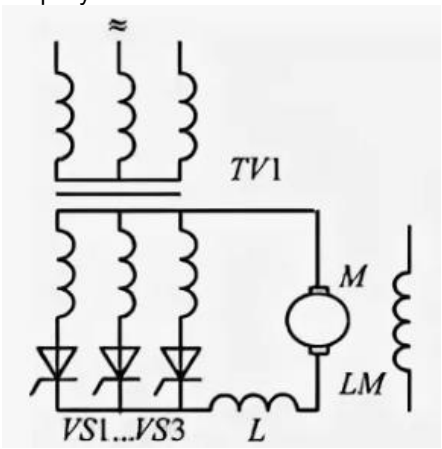
Дисциплина № Б1.В.03.02 Силовая электроника

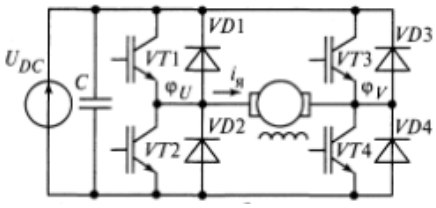
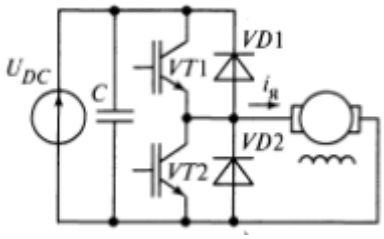
Номер задания	Содержание задания	Ключ к ответу	Тема РПД	Семестр
ПК-1 Способен участвовать в проектировании электротехнических систем и их компонентов				5
1.	**Прочитайте текст вопроса и выберите правильный ответ:** На рисунке изображен: А) полевой транзистор с изолированным затвором и собственным каналом n-типа; Б) полевой транзистор с изолированным затвором и индуцированным каналом n-типа; В) полевой транзистор с изолированным затвором и собственным каналом p-типа; Г) полевой транзистор с изолированным затвором и индуцированным каналом p-типа.	А	Силовые полупроводниковые приборы	
2.	**Прочитайте текст вопроса и выберите правильный ответ:** На рисунке  изображен: А) стабилитрон; Б) запираемый тиристор; В) выпрямительный диод; Г) туннельный диод.	В	Силовые полупроводниковые приборы	
3.	**Прочитайте текст вопроса и выберите правильный ответ:** На рисунке  изображен: А) стабилитрон; Б) запираемый тиристор; В) варикап; Г) туннельный диод.	А	Силовые полупроводниковые приборы	
4.	**Прочитайте текст вопроса и выберите правильный ответ:** На рисунке	Г	Силовые полупроводниковые приборы	

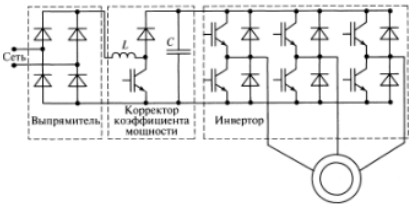
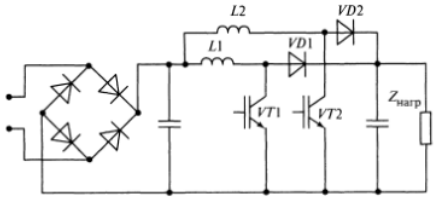
	 изображен: А) полевой транзистор с pn-переходом и p-каналом; Б) биполярный транзистор с изолированным затвором; В) биполярный npn-транзистор. Г) биполярный pnp-транзистор.			
5.	**Прочитайте текст вопроса и выберите правильный ответ:** На рисунке  изображен: А) биполярный npn-транзистор; Б) биполярный транзистор с изолированным затвором; В) биполярный pnp-транзистор; Г) полевой транзистор с изолированным затвором и индуцированным каналом n-типа.	Б	Силовые полупроводниковые приборы	
6.	**Прочитайте текст вопроса и выберите правильный ответ:** На рисунке изображен: А) запираемый тиристор; Б) незапираемый тиристор; В) симистор; Г) стабилитрон.	А	Силовые полупроводниковые приборы	
7.	**Прочитайте текст вопроса и выберите правильный ответ:** На рисунке изображен: А) полевой транзистор с изолированным затвором и собственным каналом n-типа; Б) полевой транзистор с изолированным затвором и индуцированным каналом n-типа; В) полевой транзистор с изолированным затвором и собственным каналом p-типа; Г) полевой транзистор с изолированным затвором и индуцированным каналом p-типа.	А	Силовые полупроводниковые приборы	
8.	**Прочитайте текст вопроса и выберите правильный ответ:** На рисунке изображен: А) полевой транзистор с изолированным затвором и собственным каналом n-типа; Б) полевой транзистор с изолированным затвором и индуцированным каналом n-типа; В) полевой транзистор с	Б	Силовые полупроводниковые приборы	

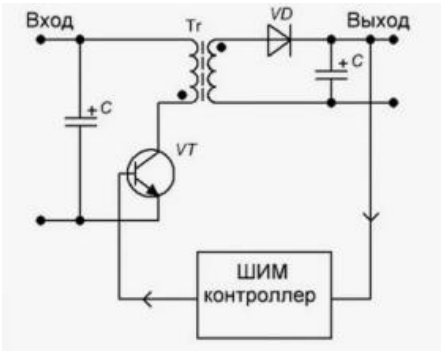
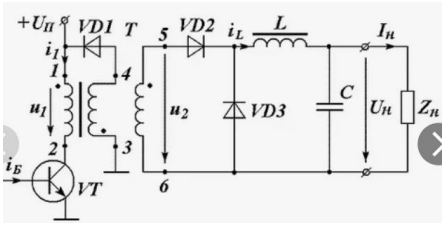
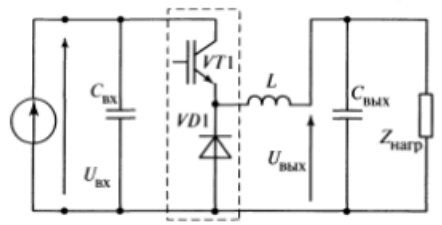
	изолированным затвором и собственным каналом р-типа; Г) полевой транзистор с изолированным затвором и индуцированным каналом р-типа.			
9.	**Прочитайте текст вопроса и выберите правильный ответ:** Чему равняется частота пульсаций выпрямленного напряжения однофазного мостового выпрямителя: А) 300 Гц Б) 150 Гц В) 50 Гц Г) 100 Гц	Г	Неуправляемые выпрямители, управляемые выпрямители и ведомые сетью инверторы	
10.	**Прочитайте текст вопроса и выберите правильный ответ:** На рисунке  изображен: А) однофазный нереверсивный тиристорный преобразователь со средней точкой; Б) однофазный нереверсивный мостовой тиристорный преобразователь; В) однофазный реверсивный тиристорный преобразователь со средней точкой; Г) однофазный реверсивный мостовой тиристорный преобразователь.	Б	Неуправляемые выпрямители, управляемые выпрямители и ведомые сетью инверторы	
11.	**Прочитайте текст вопроса и выберите правильный ответ:** На рисунке  изображен: А) управляемый реверсивный трёхфазный мостовой выпрямитель; Б) управляемый трёхфазный выпрямитель с нулевой точкой. В) неуправляемый трёхфазный выпрямитель с нулевой точкой. Г) неуправляемый трёхфазный мостовой выпрямитель.	Г	Неуправляемые выпрямители, управляемые выпрямители и ведомые сетью инверторы	
12.	**Прочитайте текст вопроса и выберите правильный ответ:** На рисунке	В	Неуправляемые выпрямители, управляемые выпрямители и ведомые сетью инверторы	

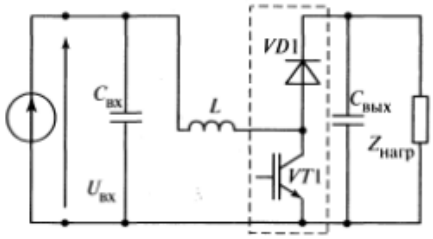
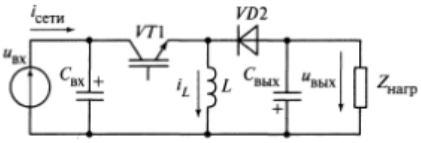
	 изображен: А) управляемый реверсивный однофазный мостовой выпрямитель; Б) управляемый однофазный выпрямитель с нулевой точкой; В) неуправляемый однофазный мостовой выпрямитель; Г) неуправляемый однофазный выпрямитель с нулевой точкой.			
13.	**Прочитайте текст вопроса и выберите правильный ответ:** На рисунке  изображен: А) управляемый реверсивный трёхфазный мостовой выпрямитель; Б) управляемый трёхфазный выпрямитель с нулевой точкой. В) неуправляемый трёхфазный выпрямитель с нулевой точкой. Г) неуправляемый трёхфазный мостовой выпрямитель.	В	Неуправляемые выпрямители, управляемые выпрямители и ведомые сетью инверторы	
14.	**Прочитайте текст вопроса и выберите правильный ответ:** На рисунке  изображен: А) управляемый реверсивный трёхфазный мостовой выпрямитель; Б) управляемый трёхфазный выпрямитель с нулевой точкой. В) неуправляемый трёхфазный	А	Неуправляемые выпрямители, управляемые выпрямители и ведомые сетью инверторы	

	выпрямитель с нулевой точкой. Г) неуправляемый трёхфазный мостовой выпрямитель.			
15.	**Прочитайте текст вопроса и выберите правильный ответ:** На рисунке  изображен: А) управляемый реверсивный трёхфазный мостовой выпрямитель; Б) управляемый нереверсивный трёхфазный выпрямитель с нулевой точкой. В) управляемый реверсивный трёхфазный выпрямитель с нулевой точкой; Г) неуправляемый трёхфазный мостовой выпрямитель.	В	Неуправляемые выпрямители, управляемые выпрямители и ведомые сетью инверторы	
16.	**Прочитайте текст вопроса и выберите правильный ответ:** На рисунке  изображен: А) управляемый реверсивный трёхфазный мостовой выпрямитель; Б) управляемый нереверсивный трёхфазный выпрямитель с нулевой точкой. В) управляемый реверсивный трёхфазный выпрямитель с нулевой точкой; Г) неуправляемый трёхфазный мостовой выпрямитель.	Б	Неуправляемые выпрямители, управляемые выпрямители и ведомые сетью инверторы	
17.	**Прочитайте текст вопроса и выберите правильный ответ:** Чему равняется частота пульсаций выпрямленного напряжения	А	Неуправляемые выпрямители, управляемые выпрямители и ведомые сетью инверторы	

	трёхфазного мостового выпрямителя: А) 300 Гц Б) 150 Гц В) 50 Гц Г) 100 Гц			
18.	**Прочитайте текст вопроса и выберите правильный ответ:** Чему равняется частота пульсаций выпрямленного напряжения трёхфазного выпрямителя с нулевой точкой: А) 300 Гц Б) 150 Гц В) 50 Гц Г) 100 Гц	Б	Неуправляемые выпрямители, управляемые выпрямители и ведомые сетью инверторы	
19.	**Прочитайте текст вопроса и выберите правильный ответ:** Чему равняется частота пульсаций выпрямленного напряжения однофазного выпрямителя со средней точкой: А) 300 Гц Б) 150 Гц В) 50 Гц Г) 100 Гц	Г	Неуправляемые выпрямители, управляемые выпрямители и ведомые сетью инверторы	
20.	**Прочитайте текст вопроса и выберите правильный ответ:** На рисунке  изображен: А) реверсивный широтно-импульсный преобразователь; Б) нереверсивный широтно-импульсный преобразователь; В) тиристорный преобразователь; Г) стабилизатор.	А	Импульсные преобразователи постоянного напряжения	
21.	**Прочитайте текст вопроса и выберите правильный ответ:** На рисунке  изображен: А) реверсивный широтно-импульсный преобразователь; Б) тиристорный преобразователь; В) нереверсивный широтно-импульсный преобразователь; Г) корректор коэффициента мощности.	В	Импульсные преобразователи постоянного напряжения	
22.	**Прочитайте текст вопроса и выберите правильный ответ:** Как в тиристорных преобразователях	Г	Неуправляемые выпрямители, управляемые выпрямители и ведомые сетью инверторы	

	ограничивают скорость нарастания напряжения между анодом и катодом тиристора: А) с помощью резисторов, подключаемых параллельно тиристорам; Б) с помощью RL-цепочек, подключаемых параллельно тиристорам; В) с помощью RLC-цепочек, подключаемых параллельно тиристорам; Г) с помощью RC-цепочек, подключаемых параллельно тиристорам.			
23.	**Прочитайте текст вопроса и выберите правильный ответ:** Для чего требуются тормозные транзисторы и резисторы в преобразователях частоты, предназначенных для управления асинхронными двигателями: А) для предотвращения превышения напряжения на силовых транзисторах, когда двигатель перейдёт в режим рекуперативного торможения; Б) для торможения электродвигателя; В) для повышения интенсивности торможения двигателя.	А	Автономные инверторы и преобразователи частоты	
24.	**Прочитайте текст вопроса и выберите правильный ответ:** На рисунке  изображен: А) компенсатор реактивной мощности; Б) широтно-импульсный преобразователь; В) преобразователь частоты; Г) тиристорный преобразователь.	В	Автономные инверторы и преобразователи частоты	
25.	**Прочитайте текст вопроса и выберите правильный ответ:** На рисунке  изображен: А) широтно-импульсный преобразователь; Б) импульсный стабилизатор напряжения; В) однофазный управляемый выпрямитель; Г) корректор коэффициента мощности.	Г	Компенсаторы неактивной составляющей полной мощности	

26.	**Прочитайте текст вопроса и выберите правильный ответ:** На рисунке  изображен: А) прямоходовый импульсный стабилизатор напряжения Б) обратноходовый импульсный стабилизатор напряжения В) импульсный стабилизатор напряжения с инвертированием напряжения; Г) непрерывный стабилизатор напряжения с понижением напряжения.	Б	Импульсные источники постоянного напряжения	
27.	**Прочитайте текст вопроса и выберите правильный ответ:** На рисунке  изображен: А) прямоходовый импульсный стабилизатор напряжения Б) обратноходовый импульсный стабилизатор напряжения В) импульсный стабилизатор напряжения с инвертированием напряжения; Г) непрерывный стабилизатор напряжения с понижением напряжения.	А	Импульсные источники постоянного напряжения	
28.	**Прочитайте текст вопроса и выберите правильный ответ:** На рисунке  изображена: А) силовая схема инвертирующего стабилизатора напряжения; Б) силовая схема понижающего стабилизатора напряжения; В) силовая схема повышающего стабилизатора напряжения;	Б	Импульсные источники постоянного напряжения	

	Г) силовая схема параметрического стабилизатора напряжения.			
29.	**Прочитайте текст вопроса и выберите правильный ответ:** На рисунке  изображена: А) силовая схема инвертирующего стабилизатора напряжения; Б) силовая схема понижающего стабилизатора напряжения; В) силовая схема повышающего стабилизатора напряжения; Г) силовая схема параметрического стабилизатора напряжения.	B	Импульсные источники постоянного напряжения	
30.	**Прочитайте текст вопроса и выберите правильный ответ:** На рисунке  изображена: А) силовая схема инвертирующего стабилизатора напряжения; Б) силовая схема понижающего стабилизатора напряжения; В) силовая схема повышающего стабилизатора напряжения; Г) силовая схема параметрического стабилизатора напряжения.	A	Импульсные источники постоянного напряжения	

Шкала и процедура текущей аттестации в накопительной системе оценивания учебных достижений обучающихся

Для текущей аттестации используется накопительная система оценивания учебных достижений обучающихся, основанная на использовании совокупности контрольных точек. В накопительной системе применяются оценки «5», «4», «3» и «2» независимо от формы промежуточной аттестации по дисциплине. Расчет итоговой оценки по текущей аттестации в электронном журнале выполняется автоматически при условии введения в него всех контрольных точек, весового коэффициента каждой из них в процентах и наличия проставленных оценок.

Оценка «5» выставляется обучающимся за правильные и полные ответы на вопросы контрольных заданий, оформление отчетов в соответствии с установленными требованиями и своевременном их представлении на проверку преподавателю.

Оценка «4» выставляется обучающимся за правильные, но неполные ответы на вопросы контрольных заданий, оформление отчетов с отдельными отклонениями от установленных требований и незначительными нарушениями сроков их представления на проверку преподавателю.

Оценка «3» выставляется обучающимся, допустившим неточности и неполноту ответов на вопросы контрольных заданий, несоблюдение требований к оформлению отчетов и нарушение сроков их представления на проверку преподавателю, но обладающим уровнем подготовки, достаточным для устранения допущенных недочетов под руководством преподавателя.

Оценка «2» выставляется обучающимся, обнаружившим пробелы в знаниях основного учебного материала, допустившим принципиальные ошибки при выполнении контрольных заданий.

Контрольная точка считается успешно пройденной, если обучающийся получил оценку «5», «4» или «3». При получении оценки «2» контрольная точка считается не пройденной.

Расчет итоговой оценки по текущей аттестации в электронном журнале выполняется автоматически при условии введения в него всех контрольных точек, весового коэффициента каждой из них в процентах и наличия проставленных оценок.

Шкала и процедура оценивания сформированности компетенций

На этапе промежуточной аттестации используется система оценки успеваемости обучающихся, которая позволяет преподавателю оценить уровень освоения материала обучающимися. Критерии оценивания сформированности планируемых результатов обучения (дескрипторов) представлены в карте компетенции ОПОП.

Форма оценки отчетов по индивидуальным домашним заданиям и лабораторным работам – «зачет» / «незачет». Промежуточная аттестация по дисциплине проводится в форме экзамена: оценка - 5 «отлично»; 4 «хорошо»; 3 «удовлетворительно»; 2 «неудовлетворительно».

Шкала оценивания:

«Экзамен» – выставляется, если сформированность заявленных дескрипторов компетенций более чем на 50% оценивается не ниже «удовлетворительно» при условии отсутствия критерия «неудовлетворительно». Выставляется, когда обучающийся показывает хорошие знания изученного учебного материала; самостоятельно, логично и последовательно излагает и интерпретирует материалы учебного курса; полностью раскрывает смысл предлагаемого вопроса; владеет основными терминами и понятиями изученного курса; показывает умение переложить теоретические знания на предполагаемый практический опыт.

«Отлично» – выставляется, если сформированность заявленных дескрипторов компетенций (в соответствии с картами компетенций ОПОП) оценивается критериями «хорошо» и «отлично» в пределах от 86% до 100%, при условии отсутствия оценки «неудовлетворительно»: студент показал прочные знания основных положений фактического материала, умение самостоятельно решать конкретные практические задачи повышенной сложности, свободно использовать справочную литературу, делать обоснованные выводы из результатов анализа конкретных ситуаций;

«Хорошо» – выставляется, если сформированность заявленных дескрипторов компетенций (в соответствии с картами компетенций ОПОП) оценивается критериями «хорошо» и «отлично» в пределах от 61% до 85%, при условии отсутствия оценки «неудовлетворительно», допускается оценка «удовлетворительно»: обучающийся показал прочные знания основных положений фактического материала, умение самостоятельно решать конкретные практические задачи, предусмотренные рабочей программой, ориентироваться в рекомендованной справочной литературе, умеет правильно оценить полученные результаты анализа конкретных ситуаций;

«Удовлетворительно» – выставляется, если сформированность заявленных дескрипторов компетенций (в соответствии с картами компетенций ОПОП) оценивается критериями «удовлетворительно», «хорошо» и «отлично» в пределах от 51% до 60%: обучающийся показал знание основных положений фактического материала, умение получить с помощью преподавателя правильное решение конкретной практической задачи из числа предусмотренных рабочей программой, знакомство с рекомендованной справочной литературой;

«Неудовлетворительно», – выставляется, если сформированность заявленных дескрипторов компетенций (в соответствии с картами компетенций ОПОП) менее чем на 51% оценивается критериями «удовлетворительно», «хорошо» и «отлично»: при ответе обучающегося выявились существенные пробелы в знаниях основных положений фактического материала, неумение с помощью преподавателя получить правильное решение

конкретной практической задачи из числа предусмотренных рабочей программой учебной дисциплины.

Ответы и решения обучающихся оцениваются по следующим общим критериям: распознавание проблем; определение значимой информации; анализ проблем; аргументированность; использование стратегий; творческий подход; выводы; общая грамотность.

Соответствие критериев оценивания сформированности планируемых результатов обучения (дескрипторов) системам оценок представлено в табл. 4.

Таблица 4

Интегральная оценка

Критерии	Традиционная оценка
5	5
4	4
3	3
2 и 1	2, Незачет
5, 4, 3	Зачет с оценкой

Обучающиеся обязаны сдавать все задания в сроки, установленные преподавателем. Оценка «Удовлетворительно» по дисциплине, может выставляться и при неполной сформированности компетенций в ходе освоения отдельной учебной дисциплины, если их формирование предполагается продолжить на более поздних этапах обучения, в ходе изучения других учебных дисциплин.