

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации  
Федеральное государственное автономное образовательное учреждение  
высшего образования



**Пермский национальный исследовательский  
политехнический университет**

**УТВЕРЖДАЮ**

Проректор по образовательной  
деятельности

 А.Б. Петроченков

« 10 » февраля 20 23 г.

### **РАБОЧАЯ ПРОГРАММА ДИСЦИПЛИНЫ**

**Дисциплина:** Частотно-преобразовательная техника для электромеханики  
(наименование)

**Форма обучения:** очная  
(очная/очно-заочная/заочная)

**Уровень высшего образования:** бакалавриат  
(бакалавриат/специалитет/магистратура)

**Общая трудоёмкость:** 144 (4)  
(часы (ЗЕ))

**Направление подготовки:** 13.03.02 Электроэнергетика и электротехника  
(код и наименование направления)

**Направленность:** Электроэнергетика и электротехника (общий профиль, СУОС)  
(наименование образовательной программы)

## 1. Общие положения

### 1.1. Цели и задачи дисциплины

Цель учебной дисциплины - формирование комплекса знаний, умений и навыков в области эксплуатации частотно-преобразовательной техники.

Задачи учебной дисциплины:

- изучение основных видов силовых электронных устройств и основных принципов частотного регулирования, основных информационных технологий, применяемых при моделировании основных видов силовых электронных устройств и систем частотно-регулируемых приводов, основных методов моделирования основных видов силовых электронных устройств и систем частотно-регулируемых приводов;
- формирование умения применять информационные технологии при моделировании основных видов силовых электронных устройств и систем частотно-регулируемых приводов, анализировать работу силовых электронных устройств и систем частотно-регулируемых приводов по результатам моделирования различных режимов их работы;
- формирование навыков практического использования информационных технологий при моделировании основных видов силовых электронных устройств и систем частотно-регулируемых приводов.

### 1.2. Изучаемые объекты дисциплины

Предметом освоения дисциплины являются следующие объекты:

- силовые электронные устройства;
- системы частотно-регулируемого привода.

### 1.3. Входные требования

Не предусмотрены

## 2. Планируемые результаты обучения по дисциплине

Компетенция	Индекс индикатора	Планируемые результаты обучения по дисциплине (знать, уметь, владеть)	Индикатор достижения компетенции, с которым соотнесены планируемые результаты обучения	Средства оценки
-------------	-------------------	---	--	-----------------

Компетенция	Индекс индикатора	Планируемые результаты обучения по дисциплине (знать, уметь, владеть)	Индикатор достижения компетенции, с которым соотнесены планируемые результаты обучения	Средства оценки
ПК-1.1	ИД-1ПК-1.1	Знает: - основные виды силовых электронных устройств и основные принципы частотного регулирования; - основные информационные технологии, применяемые при моделировании основных видов силовых электронных устройств и систем частотно-регулируемых приводов; - основные методы моделирования основных видов силовых электронных устройств и систем частотно-регулируемых приводов.	Знает современные информационные технологии, сетевые компьютерные технологии, математические пакеты в электротехнике	Дифференцированный зачет
ПК-1.1	ИД-2ПК-1.1	Умеет: - применять информационные технологии при моделировании основных видов силовых электронных устройств и систем частотно-регулируемых приводов; - анализировать работу силовых электронных устройств и систем частотно-регулируемых приводов по результатам моделирования различных режимов их работы.	Умеет применять современные программно-вычислительные комплексы для исследования процессов и режимов работы объектов профессиональной деятельности	Защита лабораторной работы
ПК-1.1	ИД-3ПК-1.1	Владеет: - навыками практического использования информационных технологий при моделировании основных видов силовых электронных устройств и систем частотно-регулируемых приводов.	Владеет навыками математического моделирования при анализе и расчете объектов профессиональной деятельности	Отчёт по практическому занятию
ПК-2.3	ИД-1ПК-2.3	Знает: - основные требования, предъявляемые к	Знает состав, этапы, последовательность и особенности	Дифференцированный зачет

Компетенция	Индекс индикатора	Планируемые результаты обучения по дисциплине (знать, уметь, владеть)	Индикатор достижения компетенции, с которым соотнесены планируемые результаты обучения	Средства оценки
		проектированию силовых электронных устройств и систем частотно-регулируемого привода; - основные требования, предъявляемые к моделированию основных видов силовых электронных устройств и систем частотно-регулируемых приводов; - основные требования, предъявляемые к методам моделирования основных видов силовых электронных устройств и систем частотно-регулируемых приводов.	предпроектного обследования и проектирования объектов профессиональной деятельности в соответствии с техническим заданием и нормативно-технической документацией, соблюдая различные технические, энергоэффективные и экологические требования	
ПК-2.3	ИД-2ПК-2.3	Умеет: - применять информационные технологии при моделировании основных видов силовых электронных устройств и систем частотно-регулируемых приводов согласно техническому заданию и нормативно-технической документации; - анализировать работу силовых электронных устройств и систем частотно-регулируемых приводов по результатам моделирования различных режимов их работы на предмет соответствия техническому заданию и нормативно-технической документации, соблюдению различных энергоэффективных и экологических требований.	Умеет применять основные подходы и методики, программные и технические средства предпроектного обследования и проектирования объектов профессиональной деятельности в соответствии с техническим заданием и нормативно-технической документацией, соблюдая различные технические, энергоэффективные и экологические требования	Защита лабораторной работы
ПК-2.3	ИД-3ПК-2.3	Владеет: - навыками практического использования и нормативно-технической	Владеет навыками использования основных программных и технических средств предпроектного	Отчёт по практическом у занятию

Компетенция	Индекс индикатора	Планируемые результаты обучения по дисциплине (знать, уметь, владеть)	Индикатор достижения компетенции, с которым соотнесены планируемые результаты обучения	Средства оценки
		документации при моделировании основных видов силовых электронных устройств и систем частотно-регулируемых приводов.	обследования и проектирования объектов профессиональной деятельности в соответствии с техническим заданием и нормативно-технической документацией, соблюдая различные технические, энергоэффективные и экологические требования	

### 3. Объем и виды учебной работы

Вид учебной работы	Всего часов	Распределение по семестрам в часах	
		Номер семестра	
		8	
1. Проведение учебных занятий (включая проведение текущего контроля успеваемости) в форме:	54	54	
1.1. Контактная аудиторная работа, из них:			
- лекции (Л)	18	18	
- лабораторные работы (ЛР)	27	27	
- практические занятия, семинары и (или) другие виды занятий семинарского типа (ПЗ)	5	5	
- контроль самостоятельной работы (КСР)	4	4	
- контрольная работа			
1.2. Самостоятельная работа студентов (СРС)	90	90	
2. Промежуточная аттестация			
Экзамен			
Дифференцированный зачет	9	9	
Зачет			
Курсовой проект (КП)			
Курсовая работа (КР)			
Общая трудоемкость дисциплины	144	144	

### 4. Содержание дисциплины

Наименование разделов дисциплины с кратким содержанием	Объем аудиторных занятий по видам в часах			Объем внеаудиторных занятий по видам в часах
	Л	ЛР	ПЗ	
8-й семестр				

Наименование разделов дисциплины с кратким содержанием	Объем аудиторных занятий по видам в часах			Объем внеаудиторных занятий по видам в часах
	Л	ЛР	ПЗ	СРС
Введение. Элементная база современной преобразовательной техники.	1	2	1	14
Тема 1. Введение. Организация учебного процесса. Введение в курс «Частотно-преобразовательная техника для электромеханики». Предмет и задачи курса. Основные этапы развития силовой электроники и ее место в современной технике. Достижение современной преобразовательной техники. Тема 2. Элементная база современной преобразовательной техники. Основы силовой электроники. Силовые полупроводниковые приборы, их основные типы и характеристики: силовые полупроводниковые диоды, тиристоры, полностью управляемые GTO-тиристоры, биполярные транзисторы, полевые MOSFET транзисторы, биполярные IGBT транзисторы. Современная отечественная элементная база для силовой преобразовательной техники. Элементная база и типовые узлы систем управления				
Тиристорные выпрямители. Инверторы, ведомые сетью.	1	4	0	14
Тема 3. Тиристорные выпрямители. Основные схемы выпрямления, принцип работы и характеристики (регулируемые, нагрузочные и энергетические). Угол управления, способы построения схем импульсно-фазового управления (СИФУ). Выпрямленное напряжение и ЭДС. Тема 4. Инверторы, ведомые сетью. Принцип работы зависимого инвертора. Работа основных схем в инверторном режиме. Основные характеристики зависимых инверторов. Аварийные режимы работы инверторов.				
Реверсивный тиристорный преобразователь. Широтно-импульсный тиристорный преобразователь.	4	4	0	14
Тема 5. Реверсивный тиристорный преобразователь. Конструкции механизмов передвижения грузовых тележек. Конструкции механизмов передвижения кранов. Определение сопротивления передвижения механизмов. Выбор двигателя и тормоза и проверка их по ускорению. Расчёт ходовых колёс. Устройства, обеспечивающие безопасность работы механизмов передвижения. Тема 6. Широтно-импульсные тиристорные преобразователи. Широтно-импульсные тиристорные преобразователи (ШИП) в системе привода постоянного тока как управляемые источники.				

Наименование разделов дисциплины с кратким содержанием	Объем аудиторных занятий по видам в часах			Объем внеаудиторных занятий по видам в часах
	Л	ЛР	ПЗ	СРС
Одноплечевой ШИП с симметричным законом управления. Мостовой ШИП. Импульсные источники питания постоянного тока				
Инверторы напряжения. Инверторы тока.	4	5	0	14
Тема 7. Инверторы напряжения. Однофазные инверторы напряжения. Трехфазные инверторы напряжения. Управление выходным напряжением. Применение высокочастотной коммутации силовых ключей в системе с АИН с широтно-импульсной модуляцией (ШИМ). Тема 8. Инверторы тока Однофазный инвертор тока на полностью управляемых ключах. Автономный инвертор тока на обычных тиристорах. Трехфазный инвертор тока. Управление выходным напряжением.				
Преобразователь частоты с непосредственной связью. Преобразователи частоты с промежуточным звеном постоянного тока.	4	6	0	16
Тема 9. Преобразователь частоты с непосредственной связью. Принцип прямого преобразования частоты тиристорными преобразователями. Схемы включения преобразующих групп, принципы формирования выходного синусоидального напряжения, преимущества и недостатки. Тема 10. Преобразователи частоты с промежуточным звеном постоянного тока. Преобразователи частоты с промежуточным звеном постоянного тока на базе автономного инвертора тока. Преобразователи частоты с промежуточным звеном постоянного тока на базе автономного инвертора напряжения.				
Частотное управление асинхронным двигателем. Частотное управление синхронным двигателем.	4	6	4	18
Тема 11. Частотное управление асинхронным двигателем. История вопроса, отличие векторного регулирования от скалярного. Схема замещения асинхронного двигателя. Векторная диаграмма асинхронного двигателя. Момент асинхронного двигателя. Уравнения динамического равновесия. Преобразование уравнений равновесия в систему координат ХУ. Преобразование уравнений равновесия статора. Преобразование уравнений равновесия ротора. Общая идея построения системы регулирования скорости. Закон регулирования. Построение системы регулирования в координатах dq, при $\omega R = \text{const}$ . Уравнения равновесия АД в системе dq. Связь между моментом и скоростью скольжения. Связь				

Наименование разделов дисциплины с кратким содержанием	Объем аудиторных занятий по видам в часах			Объем внеаудиторных занятий по видам в часах
	Л	ЛР	ПЗ	СРС
<p>между моментом и проекцией тока статора на ось d. Связь между моментом и проекцией тока статора на ось q. Выбор потока ротора. Оптимизация потока ротора. Перекрестные связи. Ограничение момента. Непосредственная и косвенная ориентация по полю. Структурная схема системы регулирования скорости. Тема 12. Частотное управление синхронным двигателем.</p> <p>Векторная диаграмма и момент синхронного двигателя с постоянными магнитами. Векторная диаграмма синхронного двигателя с неявнополюсным ротором. Уравнения равновесия статора синхронного двигателя. Основная идея построения системы регулирования скорости синхронного двигателя с неявнополюсным ротором. Перекрестные связи. Ограничение момента. Структурная схема системы регулирования скорости СД.</p>				
ИТОГО по 8-му семестру	18	27	5	90
ИТОГО по дисциплине	18	27	5	90

#### Тематика примерных практических занятий

№ п.п.	Наименование темы практического (семинарского) занятия
1	Частотно регулируемый привод. Вопросы энергосбережения
2	Частотно регулируемый привод. Особенности реализации
3	Частотно регулируемый привод. Нормативная база

#### Тематика примерных лабораторных работ

№ п.п.	Наименование темы лабораторной работы
1	Пакет Simulink. Типы блоков, операции с ними. Моделирование работы силовых ключей
2	Исследование однофазного двухполупериодного выпрямителя. Исследование трехфазного мостового выпрямителя.
3	Исследование работы однофазной нулевой схемы зависимого инвертора. Исследование работы трехфазного мостового зависимого инвертора
4	Исследование реверсивного тиристорного преобразователя с отдельным управлением. Исследование реверсивного тиристорного преобразователя с совместным управлением
5	Исследование мостового ШИП с симметричным законом управления. Исследование мостового ШИП с несимметричным законом управления
6	Исследование однофазного мостового инвертора с симметричным управлением. Исследование трехфазного мостового инвертора с симметричным управлением



№ п.п.	Наименование темы лабораторной работы
7	Исследование однофазного параллельного инвертора тока. Исследование трехфазного параллельного инвертора тока
8	Исследование работы циклоконвертора. Исследование разомкнутой системы НПЧ-СД
9	Исследование работы преобразователя частоты на базе АИН. Исследование разомкнутой системы ПЧЗПТ-АД
10	Моделирование АДКЗ в неподвижной системе координат, вращающейся системе координат. Моделирование электропривода ПЧЗПТ-АДКЗ с реализацией контуров управления во вращающейся системе координат
11	Модель СДПМ в неподвижной системе координат, вращающейся системе координат. Модель электропривода ПЧЗПТ-СДПМ с реализацией контуров управления во вращающейся системе координат

## 5. Организационно-педагогические условия

### 5.1. Образовательные технологии, используемые для формирования компетенций

Проведение лекционных занятий по дисциплине основывается на активном методе обучения, при котором учащиеся не пассивные слушатели, а активные участники занятия, отвечающие на вопросы преподавателя. Вопросы преподавателя нацелены на активизацию процессов усвоения материала, а также на развитие логического мышления. Преподаватель заранее намечает список вопросов, стимулирующих ассоциативное мышление и установление связей с ранее освоенным материалом.

Практические занятия проводятся на основе реализации метода обучения действием: определяются проблемные области, формируются группы. При проведении практических занятий преследуются следующие цели: применение знаний отдельных дисциплин и креативных методов для решения проблем и принятия решений; отработка у обучающихся навыков командной работы, межличностных коммуникаций и развитие лидерских качеств; закрепление основ теоретических знаний.

Проведение лабораторных занятий основывается на интерактивном методе обучения, при котором обучающиеся взаимодействуют не только с преподавателем, но и друг с другом. При этом доминирует активность учащихся в процессе обучения. Место преподавателя в интерактивных занятиях сводится к направлению деятельности обучающихся на достижение целей занятия.

При проведении учебных занятий используются интерактивные лекции, групповые дискуссии, ролевые игры, тренинги и анализ ситуаций и имитационных моделей.

### 5.2. Методические указания для обучающихся по изучению дисциплины

При изучении дисциплины обучающимся целесообразно выполнять следующие рекомендации:

1. Изучение учебной дисциплины должно вестись систематически.
2. После изучения какого-либо раздела по учебнику или конспектным материалам рекомендуется по памяти воспроизвести основные термины, определения, понятия раздела.
3. Особое внимание следует уделить выполнению отчетов по практическим занятиям, лабораторным работам и индивидуальным комплексным заданиям на самостоятельную работу.
4. Вся тематика вопросов, изучаемых самостоятельно, задается на лекциях преподавателем. Им же даются источники (в первую очередь вновь изданные в периодической научной литературе) для более детального понимания вопросов, озвученных на лекции.

## 6. Перечень учебно-методического и информационного обеспечения для самостоятельной работы обучающихся по дисциплине

### 6.1. Печатная учебно-методическая литература

№ п/п	Библиографическое описание (автор, заглавие, вид издания, место, издательство, год издания, количество страниц)	Количество экземпляров в библиотеке
<b>1. Основная литература</b>		
1	Попков О. З. Основы преобразовательной техники : учебное пособие для вузов. 3-е изд., стер. Москва : Издат. дом МЭИ, 2010. 200 с. 12,5 усл. печ. л.	10
2	Розанов Ю. К., Рябчицкий М. В., Кваснюк А. А. Силовая электроника : учебник для вузов. 2-е изд., стер. Москва : Издат. дом МЭИ, 2009. 632 с.	4
3	Соколовский Г. Г. Электроприводы переменного тока с частотным регулированием : учебник для вузов. 2-е изд., испр. Москва : Академия, 2007. 265 с.	34
4	Шрейнер Р. Т. Системы подчиненного регулирования электроприводов : учебное пособие для вузов. Екатеринбург : Изд-во РГПСУ, 2008. 278 с.	30
<b>2. Дополнительная литература</b>		
<b>2.1. Учебные и научные издания</b>		
1	Герман-Галкин С. Г. Силовая электроника : лабораторные работы на ПК. Санкт-Петербург : Учитель и ученик : КОРОНА принт, 2002. 302 с.	8
2	Черных И. В. Simulink: среда создания инженерных приложений. Москва : Диалог-МИФИ, 2004. 491 с.	23
<b>2.2. Периодические издания</b>		
1	Электричество : теоретический и научно-практический журнал. Москва : Знак, 1880 - .	
2	Электротехника : научно-технический журнал. Москва : Знак, 1930 - .	
<b>2.3. Нормативно-технические издания</b>		
	Не используется	
<b>3. Методические указания для студентов по освоению дисциплины</b>		
	Не используется	
<b>4. Учебно-методическое обеспечение самостоятельной работы студента</b>		
	Не используется	

## 6.2. Электронная учебно-методическая литература

Вид литературы	Наименование разработки	Ссылка на информационный ресурс	Доступность (сеть Интернет / локальная сеть; авторизованный / свободный доступ)
Основная литература	Коновалов Б. И., Мишуоров В. С. Основы преобразовательной техники: учебное пособие. — Томск: Факультет дистанционного обучения, ТУСУР, 2015. — 197 с.	<a href="https://elib.pstu.ru/Record/lan11528">https://elib.pstu.ru/Record/lan11528</a>	локальная сеть; свободный доступ

## 6.3. Лицензионное и свободно распространяемое программное обеспечение, используемое при осуществлении образовательного процесса по дисциплине

Вид ПО	Наименование ПО
Операционные системы	MS Windows XP (подп. Azure Dev Tools for Teaching до 27.03.2022 )
Офисные приложения.	Microsoft Office Professional 2007. лиц. 42661567
Прикладное программное обеспечение общего назначения	MATHCAD 14 Academic, ПНИПУ 2009 г.
Прикладное программное обеспечение общего назначения	MATLAB 7.9 + Simulink 7.4 Academic, ПНИПУ 2009 г.

## 6.4. Современные профессиональные базы данных и информационные справочные системы, используемые при осуществлении образовательного процесса по дисциплине

Наименование	Ссылка на информационный ресурс
База данных научной электронной библиотеки (eLIBRARY.RU)	<a href="https://elibrary.ru/">https://elibrary.ru/</a>
Научная библиотека Пермского национального исследовательского политехнического университета	<a href="http://lib.pstu.ru/">http://lib.pstu.ru/</a>
Электронно-библиотечная система Лань	<a href="https://e.lanbook.com/">https://e.lanbook.com/</a>
Электронно-библиотечная система IPRbooks	<a href="http://www.iprbookshop.ru/">http://www.iprbookshop.ru/</a>
Информационные ресурсы Сети КонсультантПлюс	<a href="http://www.consultant.ru/">http://www.consultant.ru/</a>

## 7. Материально-техническое обеспечение образовательного процесса по дисциплине

Вид занятий	Наименование необходимого основного оборудования и технических средств обучения	Количество единиц
Лабораторная работа	Компьютер	10

Вид занятий	Наименование необходимого основного оборудования и технических средств обучения	Количество единиц
Лекция	Компьютер, проектор, маркерная (меловая) доска	1
Практическое занятие	Компьютер	10

## **8. Фонд оценочных средств дисциплины**

Описан в отдельном документе

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации  
Федеральное государственное автономное образовательное учреждение  
высшего профессионального образования  
**«Пермский национальный исследовательский политехнический  
университет»**

**ФОНД ОЦЕНОЧНЫХ СРЕДСТВ**  
для проведения промежуточной аттестации обучающихся по дисциплине

**«Частотно-преобразовательная техника для  
электромеханики»**

*Приложение к рабочей программе дисциплины*

**Форма обучения:** Очная

**Курс:** 4                      **Семестр(-ы):** 8

**Трудоёмкость:**

Кредитов по рабочему учебному плану: 4 ЗЕ

Часов по рабочему учебному плану: 144 ч

**Форма промежуточной аттестации:**

Дифзачет: 8 сем.

**Пермь 2022**

**Фонд оценочных средств** для проведения промежуточной аттестации обучающихся по дисциплине является частью (приложением) к рабочей программе дисциплины. Фонд оценочных средств для проведения промежуточной аттестации обучающихся по дисциплине разработан в соответствии с общей частью фонда оценочных средств для проведения промежуточной аттестации основной образовательной программы, которая устанавливает систему оценивания результатов промежуточной аттестации и критерии выставления оценок. Фонд оценочных средств для проведения промежуточной аттестации обучающихся по дисциплине устанавливает формы и процедуры текущего контроля успеваемости и промежуточной аттестации обучающихся по дисциплине.

### **Перечень контролируемых результатов обучения по дисциплине, объекты оценивания и виды контроля**

Согласно РПД освоение учебного материала дисциплины запланировано в течение одного семестра (8-го семестра учебного плана) и разбито на 2 учебных модуля. В каждом модуле предусмотрены аудиторские практические занятия, а также самостоятельная работа студентов. В рамках освоения учебного материала дисциплины формируются компоненты компетенций *знать, уметь, владеть*, указанные в РПД, которые выступают в качестве контролируемых результатов обучения по дисциплине (табл. 1.1).

Контроль уровня усвоенных знаний, усвоенных умений и приобретенных владений осуществляется в рамках текущего, рубежного и промежуточного контроля при изучении теоретического материала.

Виды контроля сведены в таблицу 1.1.

Таблица 1.1. Перечень контролируемых результатов обучения по дисциплине

Контролируемые результаты обучения по дисциплине (ЗУВы)	Вид контроля				
	Текущий		Рубежный		Промежуточный
	С	ТО	ОЛР	Т/КР	Диф. зачет
1	2	3	4	5	6
<b>Усвоенные знания</b>					
3.1. знать основные виды силовых электронных устройств, основные принципы частотного регулирования	C1-12	TO1-12		KP1-2	ТВ
3.2. знать основные информационные технологии, применяемые при моделировании основных видов силовых электронных устройств, систем частотно-регулируемых приводов	C1-12	TO1-12		KP1-2	ТВ
3.3. знать основные методы моделирования основных видов силовых электронных устройств, систем частотно-регулируемых приводов	C1-12	TO1-12		KP1-2	ТВ
3.4. знать основные требования, предъявляемые к проектированию силовых электронных устройств и систем частотно-регулируемого привода	C1-12	TO1-12		KP1-2	ТВ
3.5. знать основные требования, предъявляемые к моделированию основных видов силовых электронных устройств и систем частотно-регулируемых приводов	C1-12	TO1-12		KP1-2	ТВ
3.6. знать основные требования, предъявляемые к методам моделирования основных видов силовых электронных устройств и систем частотно-регулируемых приводов	C1-12	TO1-12		KP1-2	ТВ
<b>Освоенные умения</b>					
У.1. уметь применять информационные технологии при моделировании основных видов силовых электронных устройств, систем частотно-регулируемых приводов			ОЛР1-8	KP1-2	РП1-10
У.2. анализировать работу силовых электронных устройств, систем частотно-регулируемых приводов по результатам моделирования различных режимов их работы			ОЛР1-8	KP1-2	РП1-10
У.3. применять информационные технологии при моделировании			ОЛР1-8	KP1-2	РП1-10

Контролируемые результаты обучения по дисциплине (ЗУВы)	Вид контроля				
	Текущий		Рубежный		Промежуточный
	С	ТО	ОЛР	Т/КР	Диф. зачет
1	2	3	4	5	6
основных видов силовых электронных устройств и систем частотно-регулируемых приводов согласно техническому заданию и нормативно-технической документации					
<b>У.4.</b> анализировать работу силовых электронных устройств и систем частотно-регулируемых приводов по результатам моделирования различных режимов их работы на предмет соответствия техническому заданию и нормативно-технической документации, соблюдению различных энергоэффективных и экологических требований			ОЛР1-8	КР1-2	РП1-10
<b>Приобретенные владения</b>					
<b>В.1.</b> навыками практического использования информационных технологий при моделировании основных видов силовых электронных устройств, систем частотно-регулируемых приводов			ОЛР1-8		КЗ
<b>В.2.</b> навыками практического использования и нормативно-технической документации при моделировании основных видов силовых электронных устройств и систем частотно-регулируемых приводов			ОЛР1-8		КЗ

*С – собеседование по теме; ТО – коллоквиум (теоретический опрос); ОЛР – отчет по лабораторным работам; Т/КР – рубежная контрольная работа; ТВ – теоретический вопрос; РП – реферат и презентация; КЗ – комплексное задание зачета.*

Итоговой оценкой достижения результатов обучения по дисциплине является промежуточная аттестация в виде дифференцированного зачета в 8-ом семестре, проводимая с учётом результатов текущего и рубежного контроля.

## **2. Виды контроля, типовые контрольные задания и шкалы оценивания результатов обучения**

Текущий контроль успеваемости имеет целью обеспечение максимальной эффективности учебного процесса, управление процессом формирования заданных компетенций обучаемых, повышение мотивации к учебе и предусматривает оценивание хода освоения дисциплины. В соответствии с Положением о проведении текущего контроля успеваемости и промежуточной аттестации обучающихся по образовательным программам высшего образования – программам бакалавриата, специалитета и магистратуры в ПНИПУ предусмотрены следующие виды и периодичность текущего контроля успеваемости обучающихся:

- входной контроль, проверка исходного уровня подготовленности обучаемого и его соответствия предъявляемым требованиям для изучения данной дисциплины;

- текущий контроль усвоения материала (уровня освоения компонента «знать» заданных компетенций) на каждом групповом занятии и контроль посещаемости лекционных занятий;

- промежуточный и рубежный контроль освоения обучаемыми отдельных компонентов «знать», «уметь» заданных компетенций путем компьютерного или бланочного тестирования, контрольных опросов, контрольных работ (индивидуальных домашних заданий), защиты отчетов по лабораторным работам, рефератов, эссе и т.д.

Рубежный контроль по дисциплине проводится на следующей неделе после прохождения модуля дисциплины, а промежуточный – во время каждого контрольного мероприятия внутри модулей дисциплины;

- межсессионная аттестация, единовременное подведение итогов текущей успеваемости не менее одного раза в семестр по всем дисциплинам для каждого направления подготовки (специальности), курса, группы;

- контроль остаточных знаний.

## 2.1. Текущий контроль усвоения материала

Текущий контроль для оценивания знания компонента дисциплинарных частей компетенций (табл. 1.1) в форме собеседования или выборочного теоретического опроса студентов проводится по каждой теме. Результаты по 4-балльной шкале оценивания заносятся в книжку преподавателя и учитываются в виде интегральной оценки при проведении промежуточной аттестации.

## 2.2. Рубежный контроль

Рубежный контроль для комплексного оценивания усвоенных знаний, освоенных умений и приобретенных владений дисциплинарных частей компетенций (табл. 1.1) проводится согласно графика учебного процесса, приведенного в РПД, в форме защиты лабораторных работ и рубежных контрольных работ (после изучения каждого модуля учебной дисциплины).

### 2.2.1. Защита Лабораторных работ

Всего запланировано 11 лабораторных работ. Типовые темы лабораторных работ приведены в РПД.

Защита практической работы проводится индивидуально каждым студентом или группой студентов. Типовые шкала и критерии оценки приведены в таблице 2.1.

Таблица 2.1. Шкала и критерии оценки защиты лабораторной работы

Балл	Уровень освоения	Критерии оценивания уровня освоения учебного материала
5	Максимальный уровень	<i>Задание по лабораторной работе выполнено в полном объеме. Студент точно ответил на контрольные вопросы, свободно ориентируется в предложенном решении, может его модифицировать при изменении условия задачи. Отчет выполнен аккуратно и в соответствии с предъявляемыми требованиями.</i>
4	Средний уровень	<i>Задание по лабораторной работе выполнено в полном объеме. Студент ответил на теоретические вопросы, испытывая небольшие затруднения. Качество оформления отчета к лабораторной работе не полностью соответствует требованиям</i>
3	Минимальный уровень	<i>Студент правильно выполнил задание к лабораторной работе. Составил отчет в установленной форме, представил решения большинства заданий, предусмотренных в практической работе. Студент не может полностью объяснить полученные результаты.</i>
2	Минимальный уровень не достигнут	<i>Студент не выполнил все задания лабораторной работы и не может объяснить полученные результаты.</i>

### 2.2.2. Рубежная контрольная работа



Согласно РПД запланировано 2 рубежных контрольных работы (КР) после освоения студентами учебных модулей дисциплины. Первая КР по модулю 1 «Основные виды силовых электронных устройств», вторая КР – по модулю 2 «Частотно-преобразовательная техника».

Шкала и критерии оценки результатов рубежной контрольной работы приведены в таблице 2.2.

Таблица 2.2. Шкала и критерии оценки результатов рубежной контрольной работы

Балл	Уровень освоения	Критерии оценивания уровня освоения учебного модуля
5	Максимальный уровень	<i>Студент полностью выполнил задание контрольной работы, показал отличные знания и умения в рамках усвоенного учебного материала. Отчет по контрольной работе оформлен аккуратно и в соответствии с предъявляемыми требованиями.</i>
4	Средний уровень	<i>Студент полностью выполнил задание контрольной работы, показал хорошие знания и умения, но не смог обосновать оптимальность предложенного решения, есть недостатки в оформлении отчета по контрольной работе.</i>
3	Минимальный уровень	<i>Студент полностью выполнил задание контрольной работы, но допустил существенные неточности, не проявил умения правильно интерпретировать полученные результаты, отчет по контрольной работе имеет недостаточный уровень качества оформления.</i>
2	Минимальный уровень не достигнут	<i>Студент не полностью выполнил задание контрольной работы, при этом проявил недостаточный уровень знаний и умений, а также не способен пояснить полученный результат.</i>

#### **Типовые задания первой КР:**

1. Основные схемы выпрямления.
2. Мостовой ШИП.

#### **Типовые задания второй КР:**

1. Принцип прямого преобразования частоты тиристорными преобразователями.
2. Выбор потока ротора.

Типовые шкала и критерии оценки результатов рубежной контрольной работы приведены в общей части ФОС программы прикладного бакалавриата.

### **2.3. Промежуточная аттестация**

Допуск к промежуточной аттестации осуществляется по результатам текущего и рубежного контроля. Условиями допуска являются успешная сдача всех лабораторных работ и положительная интегральная оценка по результатам текущего и рубежного контроля.

Промежуточная аттестация, согласно РПД, проводится в виде зачета по дисциплине устно по вопросам (ТВ), составленных для проверки усвоенных знаний, реферата и презентации (РП) для проверки освоенных умений и комплексные задания (КЗ) для контроля уровня приобретенных владений всех заявленных дисциплинарных компетенций.

Перечень вопросов формируется таким образом, чтобы в него попали вопросы, контролирующие уровень сформированности **всех** заявленных

дисциплинарных компетенций.

### **2.3.1. Типовые вопросы и задания для зачета по дисциплине**

#### **Типовые вопросы для контроля усвоенных знаний:**

1. Предмет и задачи курса. Основные этапы развития силовой электроники и ее место в современной технике. Достижение современной преобразовательной техники.
2. Основы силовой электроники.
3. Силовые полупроводниковые приборы, их основные типы и характеристики: силовые полупроводниковые диоды, тиристоры, полностью управляемые GTO-тиристоры, биполярные транзисторы, полевые MOSFET транзисторы, биполярные IGBT транзисторы.
4. Современная отечественная элементная база для силовой преобразовательной техники.
5. Элементная база и типовые узлы систем управления
6. Основные схемы выпрямления, принцип работы и характеристики (регулируемые, нагрузочные и энергетические).
7. Угол управления, способы построения схем импульсно-фазового управления (СИФУ).
8. Выпрямленное напряжение и ЭДС.
9. Принцип работы зависимого инвертора.
10. Работа основных схем в инверторном режиме.
11. Основные характеристики зависимых инверторов.
12. Аварийные режимы работы инверторов.
13. Конструкции механизмов передвижения грузовых тележек.
14. Конструкции механизмов передвижения кранов.
15. Определение сопротивления передвижения механизмов.
16. Выбор двигателя и тормоза и проверка их по ускорению.
17. Расчёт ходовых колёс.
18. Устройства, обеспечивающие безопасность работы механизмов передвижения.
19. Широтно-импульсные тиристорные преобразователи (ШИП) в системе привода постоянного тока как управляемые источники.
20. Одноплечевой ШИП с симметричным законом управления.
21. Мостовой ШИП. Импульсные источники питания постоянного тока
22. Однофазные инверторы напряжения.
23. Трёхфазные инверторы напряжения.
24. Управление выходным напряжением.
25. Применение высокочастотной коммутации силовых ключей в системе с АИН с широтно-импульсной модуляцией (ШИМ).
26. Однофазный инвертор тока на полностью управляемых ключах.
27. Автономный инвертор тока на обычных тиристорах.
28. Трёхфазный инвертор тока.
29. Управление выходным напряжением.
30. Принцип прямого преобразования частоты тиристорными преобразователями.

31. Схемы включения преобразующих групп, принципы формирования выходного синусоидального напряжения, преимущества и недостатки.
32. Преобразователи частоты с промежуточным звеном постоянного тока на базе автономного инвертора тока.
33. Преобразователи частоты с промежуточным звеном постоянного тока на базе автономного инвертора напряжения.
34. История вопроса, отличие векторного регулирования от скалярного.
35. Схема замещения асинхронного двигателя. Векторная диаграмма асинхронного двигателя.
36. Момент асинхронного двигателя. Уравнения динамического равновесия.
37. Преобразование уравнений равновесия в систему координат ХУ.
38. Преобразование уравнений равновесия статора.
39. Преобразование уравнений равновесия ротора.
40. Общая идея построения системы регулирования скорости.
41. Закон регулирования. Построение системы регулирования в координатах  $dq$ , при  $\psi_R = \text{const}$ .
42. Уравнения равновесия АД в системе  $dq$ .
43. Связь между моментом и скоростью скольжения.
44. Связь между моментом и проекцией тока статора на ось  $d$ .
45. Связь между моментом и проекцией тока статора на ось  $q$ .
46. Выбор потока ротора. Оптимизация потока ротора.
47. Перекрестные связи.
48. Ограничение момента.
49. Непосредственная и косвенная ориентация по полю. Структурная схема системы регулирования скорости.
50. Векторная диаграмма и момент синхронного двигателя с постоянными магнитами.
51. Векторная диаграмма синхронного двигателя с неявнополюсным ротором.
52. Уравнения равновесия статора синхронного двигателя.
53. Основная идея построения системы регулирования скорости синхронного двигателя с неявнополюсным ротором.
54. Перекрестные связи.
55. Ограничение момента.
56. Структурная схема системы регулирования скорости СД.

### **Типовые вопросы и задания по рефератам и презентациям для контроля освоенных умений:**

1. Выполнение индивидуального задания по моделированию трехфазного мостового выпрямителя
2. Выполнение индивидуального задания по моделированию трехфазного мостового зависимого инвертора.
3. Выполнение индивидуального задания по моделированию реверсивного тиристорного преобразователя с отдельным управлением.
4. Выполнение индивидуального задания по моделированию реверсивного тиристорного преобразователя с совместным управлением.

5. Выполнение индивидуального задания по моделированию мостового ШИП с симметричным законом управления.

6. Выполнение индивидуального задания по моделированию мостового ШИП с несимметричным законом управления.

7. Выполнение индивидуального задания по моделированию преобразователя частоты с промежуточным звеном постоянного тока на базе автономного инвертора напряжения.

8. Выполнение индивидуального задания по моделированию непосредственного преобразователя частоты.

9. Выполнение индивидуального задания по моделированию электропривода ПЧЗПТ-АДКЗ.

10. Выполнение индивидуального задания по моделированию электропривода ПЧЗПТ-СДПМ.

**Типовые комплексные задания для контроля приобретенных владений:**

1. **Основные виды силовых электронных устройств**, включает теоретический материал тем модуля 1.

2. **Частотно-преобразовательная техника**, включает теоретический материал тем модуля 2.

**2.3.2. Шкалы оценивания результатов обучения на зачете**

Оценка результатов обучения по дисциплине в форме уровня сформированности компонентов *знать, уметь, владеть* заявленных дисциплинарных компетенций проводится по 4-х балльной шкале оценивания путем выборочного контроля во время экзамена.

Типовые шкала и критерии оценки результатов обучения при сдаче зачета для компонентов *знать, уметь и владеть* приведены в общей части ФОС программы магистратуры. Шкала и критерии оценки результатов обучения для компонентов *знать, уметь и владеть* приведены в таблицах 2.3, 2.4 и 2.5.

Таблица 2.3. Шкала оценивания уровня знаний

Балл	Уровень усвоения	Критерии оценивания уровня усвоенных знаний
5	Максимальный уровень	<i>Студент правильно ответил на теоретический вопрос. Показал отличные знания в рамках усвоенного учебного материала. Ответил на все дополнительные вопросы.</i>
4	Средний уровень	<i>Студент ответил на теоретический вопрос с небольшими неточностями. Показал хорошие знания в рамках усвоенного учебного материала. Ответил на большинство дополнительных вопросов.</i>
3	Минимальный уровень	<i>Студент ответил на теоретический вопрос с существенными неточностями. Показал удовлетворительные знания в рамках усвоенного учебного материала. При ответах на дополнительные вопросы было допущено много неточностей.</i>
2	Минимальный уровень не достигнут	<i>При ответе на теоретический вопрос студент продемонстрировал недостаточный уровень знаний. При ответах на дополнительные вопросы было допущено множество неправильных ответов.</i>

Таблица 2.4. Шкала оценивания уровня умений

Балл	Уровень освоения	Критерии оценивания уровня освоенных умений
------	------------------	---

Балл	Уровень освоения	Критерии оценивания уровня освоенных умений
5	Максимальный уровень	<i>Студент правильно выполнил практическое задание. Показал отличные умения в рамках освоенного учебного материала. Ответил на все дополнительные вопросы.</i>
4	Средний уровень	<i>Студент выполнил практическое задание с небольшими неточностями. Показал хорошие умения в рамках освоенного учебного материала. Ответил на большинство дополнительных вопросов.</i>
3	Минимальный уровень	<i>Студент выполнил практическое задание с существенными неточностями. Показал удовлетворительные умения в рамках освоенного учебного материала. При ответах на дополнительные вопросы было допущено много неточностей.</i>
2	Минимальный уровень не достигнут	<i>При выполнении практического задания студент продемонстрировал недостаточный уровень умений. При ответах на дополнительные вопросы было допущено множество неправильных ответов.</i>

Таблица 2.5. Шкала оценивания уровня приобретенных владений

Балл	Уровень приобретения	Критерии оценивания уровня приобретенных владений
5	Максимальный уровень	<i>Студент правильно выполнил комплексное задание. Показал отличные владения навыками применения полученных знаний и умений при решении профессиональных задач в рамках усвоенного учебного материала. Ответил на все дополнительные вопросы.</i>
4	Средний уровень	<i>Студент выполнил комплексное задание с небольшими неточностями. Показал хорошие владения навыками применения полученных знаний и умений при решении профессиональных задач в рамках усвоенного учебного материала. Ответил на большинство дополнительных вопросов.</i>
3	Минимальный уровень	<i>Студент выполнил комплексное задание с существенными неточностями. Показал удовлетворительное владение навыками применения полученных знаний и умений при решении профессиональных задач в рамках усвоенного учебного материала. При ответах на дополнительные вопросы было допущено много неточностей.</i>
2	Минимальный уровень не достигнут	<i>При выполнении комплексного задания студент продемонстрировал недостаточный уровень владения умениями и навыками при решении профессиональных задач в рамках усвоенного учебного материала. При ответах на дополнительные вопросы было допущено множество неточностей.</i>

### 3. Критерии оценивания уровня сформированности компонентов и компетенций

#### 3.1. Оценка уровня сформированности компонентов дисциплинарных компетенций

При оценке уровня сформированности дисциплинарных компетенций в рамках выборочного контроля при зачете считается, что *полученная оценка за компонент проверяемой в билете дисциплинарной компетенции обобщается на соответствующий компонент всех дисциплинарных компетенций, формируемых в рамках данной учебной дисциплины.*

Типовые критерии и шкалы оценивания уровня сформированности

компонентов дисциплинарных компетенций приведены в общей части ФОС программы магистратуры.

### **3.2. Оценка уровня сформированности дисциплинарных компетенций**

Общая оценка уровня сформированности всех дисциплинарных компетенций проводится путем агрегирования оценок, полученных студентом за каждый компонент формируемых компетенций, с учетом результатов текущего и рубежного контроля в виде интегральной оценки по 4-х балльной шкале. Все результаты контроля заносятся в оценочный лист и заполняются преподавателем по итогам промежуточной аттестации.

Форма оценочного листа и требования к его заполнению приведены в общей части ФОС программы магистратуры.

При формировании итоговой оценки промежуточной аттестации в виде зачета используются типовые критерии, приведенные в общей части ФОС программы магистратуры.

В оценочный лист включаются:

1. Интегральная оценка по результатам текущего и рубежного контроля по 4-х балльной шкале оценивания.
2. Три оценки за ответы на вопросы и задания по 4-х балльной шкале оценивания дают возможность проставить зачет.
3. Средняя оценка уровня сформированности дисциплинарных компетенций дает зачет.
4. Итоговый зачет по уровню сформированности дисциплинарных компетенций.

По первым 4-м оценкам вычисляется средняя оценка промежуточной аттестации по дисциплине, на основании которой по сформулированным критериям выставляется итоговый зачет уровня сформированности заявленных дисциплинарных компетенций.