

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

« 09 » октября 20 23 г.

### **РАБОЧАЯ ПРОГРАММА ДИСЦИПЛИНЫ**

**Дисциплина:** Электрические машины  
(наименование)

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

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

**Общая трудоёмкость:** 216 (6)  
(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 дисциплины – приобретение знаний, умений и навыков по расчёту, проектированию и испытаниям современных электромеханических преобразователей энергии, которые позволят студентам успешно решать теоретические и практические задачи в профессиональной деятельности, связанной с проектированием, испытаниями и эксплуатацией электрических машин.

Задачи учебной дисциплины:

- изучение основных теоретических положений и формул, которые описывают физические процессы в электрических машинах;
- изучение электромеханических свойств различных электрических машин, а именно: машин постоянного тока, асинхронных, синхронных, трансформаторов.
- формирование умения выполнять исследования электрических машин, подбирать электрические приборы и собирать схемы для их исследования;
- формирование навыков использования теоретических и практических материалов по электрическим машинам для проектирования, монтажа и наладки различных электромеханических систем;
- формирование навыков испытаний электрических машин, обработки, анализа и представления результатов экспериментальных исследований.

## 1.2. Изучаемые объекты дисциплины

- электрические машины постоянного тока, переменного тока (асинхронные, синхронные), трансформаторы.
- устройство и принцип действия электрических машин;
- методы испытаний и обработки экспериментальных исследований электрических машин;
- методы проектирования и выбора электрических машин.

## 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
ОПК-4	ИД-1ОПК-4	Знает: принцип действия современных типов электромеханических устройств и трансформаторов, особенности их конструкции, основные уравнения и схемы замещения; основные законы, теоретические положения и формулы, которые описывают электромеханические и электромагнитные процессы в электрических машинах; основные методы испытаний электрических машин; устройство, основные характеристики и параметры электрических машин и трансформаторов, для осуществления их сравнительного анализа и выбора; основные методы и подходы проектирования электрических машин.	Знает теоретические основы электротехники, основы энергетики принципы работы и характеристики энергетических установок и электрических машин различных типов	Тест
ОПК-4	ИД-2ОПК-4	Умеет: использовать на практике методы и критерии выбора электрических машин и трансформаторов для систем электроснабжения; использовать на практике методы стандартных испытаний электрических машин; подбирать электрические приборы и собирать схемы для выполнения экспериментальных исследований электрических машин; выполнять работы по расчету и проектированию электромеханических устройств и систем в	Умеет применять метод анализа, моделирования энергетических установок, электрических цепей постоянного и переменного тока, режимов работы трансформаторов, электрических машин	Защита лабораторной работы

Компетенция	Индекс индикатора	Планируемые результаты обучения по дисциплине (знать, уметь, владеть)	Индикатор достижения компетенции, с которым соотнесены планируемые результаты обучения	Средства оценки
		соответствии с техническими заданиями и использованием стандартных программных средств автоматизации расчетов и проектирования; решать задачи проектирования и эксплуатации электрических машин и трансформаторов.		
ОПК-4	ИД-3ОПК-4	Владеет: навыками использования методов и способов математического анализа и моделирования, теоретического и экспериментального исследования для определения электромеханических свойств, параметров и характеристик электрических машин; навыками использования справочной литературы и оформления специальной технической документации при проектировании электрических машин; навыком осуществления выбора электрических машин и трансформаторов при проектировании электромеханических и электроэнергетических систем; навыками выполнения испытаний электрических машин, обработки, анализа и представления результатов экспериментальных исследований.	Владеет навыками расчета и анализа электрических цепей, объектов энергетики, режимов работы электрических машин разных типов	Курсовой проект

### 3. Объем и виды учебной работы

Вид учебной работы	Всего часов	Распределение по семестрам в часах	
		Номер семестра	
		4	
1. Проведение учебных занятий (включая проведение текущего контроля успеваемости) в форме:	72	72	
1.1. Контактная аудиторная работа, из них:			
- лекции (Л)	27	27	
- лабораторные работы (ЛР)	36	36	
- 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)	108	108	
2. Промежуточная аттестация			
Экзамен	36	36	
Дифференцированный зачет			
Зачет			
Курсовой проект (КП)	36	36	
Курсовая работа (КР)			
Общая трудоемкость дисциплины	216	216	

### 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	СРС
4-й семестр				
Введение	1	0	0	0
Основные понятия, термины и определения. Предмет и задачи дисциплины. Предмет и задачи курса, краткое историческое развитие электрических машин. Общие вопросы электромеханического преобразования энергии, физические законы, лежащие в основе их работ. Состояние и перспективы развития электрических машин.				

Наименование разделов дисциплины с кратким содержанием	Объем аудиторных занятий по видам в часах			Объем внеаудиторных занятий по видам в часах
	Л	ЛР	ПЗ	СРС
Раздел 1. Трансформаторы	6	9	1	20
<p>Тема 1. Конструкция и режимы работы трансформаторов. Назначение и конструкция трансформаторов, роль трансформаторов в народном хозяйстве. Холостой ход однофазного трансформатора, режим однофазного трансформатора под нагрузкой. Режим однофазного трансформатора при коротком замыкании, КПД трансформатора.</p> <p>Тема 2. Трехфазные трансформаторы. Устройство и особенности трехфазных трансформаторов, группы соединения, параллельная работа трансформаторов. Выбор трехфазных силовых трансформаторов.</p> <p>Тема 3. Холостой ход трёхфазного трансформатора. Особенности холостого хода трёхфазного трансформатора в зависимости от схемы соединения обмоток.</p> <p>Тема 4. Переходные процессы в трансформаторах. Переходные процессы, возникающие в трансформаторе при включении вхолостую и при коротком замыкании.</p> <p>Тема 5. Специальные трансформаторы. Устройство и принцип действия автотрансформатора, трехобмоточного трансформатора, трансформатора с расщеплённой обмоткой, измерительных трансформаторов тока и напряжения, трансформаторов для удвоения и утроения частоты.</p>				
Раздел 2. Асинхронные машины	6	9	1	48
<p>Тема 6. Устройство и общие вопросы теории машин переменного тока. Устройство и принцип действия асинхронной машины. Обмотки и ЭДС в машинах переменного тока. Намагничивающая сила однофазных и трехфазных обмоток в машинах переменного тока.</p> <p>Тема 7. Приведение асинхронного двигателя к эквивалентному трансформатору. Приведение параметров роторной цепи к статорной. Трехфазная асинхронная машина при вращающемся роторе. Приведение асинхронного двигателя к эквивалентному трансформатору. Векторная диаграмма и схемы замещения асинхронного двигателя. Явления, связанные с вращением ротора.</p> <p>Тема 8. Моменты асинхронной машины. Энергетическая диаграмма асинхронного двигателя. Электромагнитный момент асинхронной машины, максимальный вращающийся момент, расчетная формула момента.</p>				

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>Тема 9. Способы пуска асинхронного двигателя. Прямой пуск. Пуск при пониженном напряжении: реакторный, автотрансформаторный, переключением обмотки статора со «звезды» на «треугольник». Пуск двигателя с фазным ротором. Система плавного пуска.</p> <p>Тема 10. Специальные асинхронные двигатели и регулирование частоты вращения. Круговая диаграмма асинхронного двигателя с фазным ротором. Асинхронные двигатели с глубоким пазом и двойной клеткой на роторе. Асинхронный двигатель – как электромеханический преобразователь энергии. Регулирование частоты вращения асинхронных двигателей.</p>				
Раздел 3. Машины постоянного тока	6	9	1	20
<p>Тема 11. Общие вопросы машин постоянного тока. Общие сведения о машинах постоянного тока. Устройство и принцип действия машины постоянного тока. ЭДС и электромагнитный момент генератора постоянного тока. Реакция якоря в машинах постоянного тока.</p> <p>Тема 12. Генераторы постоянного тока: независимого, параллельного и смешанного возбуждения. Принципы обратимости машин постоянного тока. Параллельная работа генераторов постоянного тока.</p> <p>Тема 13. Общие вопросы двигателей постоянного тока. Устройство и принцип действия двигателя постоянного тока. Уравнения напряжения, скорости и моментов двигателя постоянного тока. Пуск в ход двигателей постоянного тока.</p> <p>Тема 14. Двигатели постоянного тока и регулирование частоты вращения. Двигатели постоянного тока: параллельного, последовательного и смешанного возбуждения. Регулирование частоты вращения двигателей постоянного тока. Тахогенератор и двигатель с постоянными магнитами.</p> <p>Тема 15. Коммутация в машинах постоянного тока. Суть процессов коммутации в машинах постоянного тока. Закон изменения токов в коммутируемой секции. Прямолинейная, замедленная и ускоренная коммутация. Способы улучшения коммутации. Круговой огонь в машинах постоянного тока.</p>				
Раздел 4. Синхронные машины	8	9	2	20
Тема 16. Общие вопросы синхронных машин. Назначение и роль синхронных машин. Устройство явнополюсных и неявнополюсных синхронных машин. Холостой ход, реакция якоря в синхронной машине. Определение параметров синхронной				

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>машины. Векторные диаграммы ЭДС синхронного генератора. Параллельная работа и способы синхронизации синхронных машин.</p> <p>Тема 17. Электромагнитная мощность и момент синхронной машины. Вывод формулы электромагнитной мощности и момента синхронной машины. Угловые и <math>U</math> – образные характеристики. Работа синхронного генератора при <math>M=\text{var}</math>, <math>i_v=\text{const}</math> и <math>M=\text{const}</math>, <math>i_v=\text{var}</math>.</p> <p>Тема 18. Внезапное короткое замыкание синхронного генератора. Процессы, возникающие при внезапном коротком замыкании синхронного генератора при <math>\varphi=0</math>, <math>E=E_{\text{max}}</math> и <math>\varphi=\varphi_{\text{max}}</math>, <math>E=0</math>. Параметры схемы замещения и токи при внезапном коротком замыкании.</p> <p>Тема 19. Синхронный двигатель. Устройство, принцип действия. Пуск синхронного двигателя. Угловые и <math>U</math> – образные характеристики синхронного двигателя. Векторные диаграммы синхронного двигателя. Режим работы синхронного двигателя при <math>M=\text{const}</math>, <math>i_v=\text{var}</math>.</p>				
ИТОГО по 4-му семестру	27	36	5	108
ИТОГО по дисциплине	27	36	5	108

#### Тематика примерных практических занятий

№ п.п.	Наименование темы практического (семинарского) занятия
1	Изучение устройства и принципа действия трансформатора. Решение задач по разделу «Трансформаторы»
2	Изучение устройства и принципа действия асинхронного двигателя. Решение задач по разделу «Асинхронные машины»
3	Изучение устройства и принципа действия машин постоянного тока. Решение задач по разделу «Машины постоянного тока»
4	Изучение устройства и принципа действия синхронной машины. Решение задач по разделу «Синхронные машины»

#### Тематика примерных лабораторных работ

№ п.п.	Наименование темы лабораторной работы
1	Испытание трехфазного двухобмоточного трансформатора.
2	Параллельная работа трехфазных трансформаторов.
3	Определение КПД короткозамкнутого асинхронного двигателя методом разделения потерь
4	Исследование асинхронного двигателя с контактными кольцами по круговой диаграмме

№ п.п.	Наименование темы лабораторной работы
5	Исследование генератора постоянного тока при независимом и параллельном возбуждении
6	Исследование двигателя постоянного тока параллельного возбуждения
7	Испытание трёхфазного синхронного генератора
8	Испытание трехфазного синхронного двигателя

### Тематика примерных курсовых проектов/работ

№ п.п.	Наименование темы курсовых проектов/работ
1	Проектирование и расчёт асинхронного двигателя с фазным (короткозамкнутым) ротором (по вариантам)

## 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.

### 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	Вольдек А. И. Электрические машины. Введение в электромеханику. Машины постоянного тока и трансформаторы : учебник для вузов / А. И. Вольдек, В. В. Попов. - Санкт-Петербург[и др.]: Питер, 2008.	22
2	Вольдек А. И. Электрические машины. Машины переменного тока : учебник для вузов / А. И. Вольдек, В. В. Попов. - Санкт-Петербург [и др.]: Питер, 2008.	19
3	Гольдберг О. Д. Электромеханика : учебник для вузов / О. Д. Гольдберг, С. П. Хелемская. - М.: Академия, 2007.	38
4	Копылов И. П. Электрические машины : учебник для вузов / И. П. Копылов. - Москва: Высш. шк., 2004.	19
<b>2. Дополнительная литература</b>		
<b>2.1. Учебные и научные издания</b>		
1	Кацман М. М. Справочник по электрическим машинам : учебное пособие для среднего профессионального образования / М. М. Кацман. - Москва: Академия, 2005.	19
2	Проектирование электрических машин : учебник для вузов / И. П. Копылов [и др.]. - Москва: Юрайт, 2011.	12
3	Тихомиров П. М. Расчет трансформаторов : учебное пособие для вузов / П. М. Тихомиров. - Москва: Альянс, 2009.	40
4	Шулаков Н. В. Электрические машины : конспект лекций / Н. В. Шулаков. - Пермь: Изд-во ПГТУ, 2008.	87
<b>2.2. Периодические издания</b>		
	Не используется	
<b>2.3. Нормативно-технические издания</b>		
	Не используется	
<b>3. Методические указания для студентов по освоению дисциплины</b>		
1	Кузнецов М. И. Электрические машины / М. И. Кузнецов, А. М. Костыгов, Д. А. Даденков. - Пермь: Издательство ПНИПУ, 2015.	20
<b>4. Учебно-методическое обеспечение самостоятельной работы студента</b>		
1	Кузнецов М. И. Асинхронный двигатель с фазным ротором / М. И. Кузнецов, А. М. Костыгов. - Пермь: Издательство ПНИПУ, 2011.	20

## 6.2. Электронная учебно-методическая литература

Вид литературы	Наименование разработки	Ссылка на информационный ресурс	Доступность (сеть Интернет / локальная сеть; авторизованный / свободный доступ)
Дополнительная литература	Шулаков Н. В. Электрические машины : конспект лекций / Н. В. Шулаков. - Пермь: Изд-во ПГТУ, 2008.	<a href="http://elib.pstu.ru/Record/RUPNRPUelib2861">http://elib.pstu.ru/Record/RUPNRPUelib2861</a>	локальная сеть; свободный доступ
Методические указания для студентов по освоению дисциплины	Кузнецов М. И. Электрические машины / М. И. Кузнецов, А. М. Костыгов, Д. А. Даденков. - Пермь: Издательство ПНИПУ, 2015.	<a href="http://elib.pstu.ru/Record/RUPNRPUelib4526">http://elib.pstu.ru/Record/RUPNRPUelib4526</a>	локальная сеть; свободный доступ
Учебно-методическое обеспечение самостоятельной работы студентов	Кузнецов М. И. Асинхронный двигатель с фазным ротором / М. И. Кузнецов, А. М. Костыгов. - Пермь: Издательство ПНИПУ, 2011.	<a href="http://elib.pstu.ru/Record/RUPNRPUelib4547">http://elib.pstu.ru/Record/RUPNRPUelib4547</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	Windows 10 (подп. Azure Dev Tools for Teaching)
Офисные приложения.	Microsoft Office Professional 2007. лиц. 42661567

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

Наименование	Ссылка на информационный ресурс
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>
Информационно-справочная система нормативно-технической документации "Техэксперт: нормы, правила, стандарты и законодательства России"	<a href="https://техэксперт.сайт/">https://техэксперт.сайт/</a>

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

Вид занятий	Наименование необходимого основного оборудования и технических средств обучения	Количество единиц
Курсовой проект	Проектор , ноутбук , экран настенный, маркерная доска	1
Лабораторная работа	Лабораторный комплекс «Электрические машины и электропривод. АДКР-ГПТ 1,5 кВт»	1
Лабораторная работа	Лабораторный комплекс «Электрические машины и электропривод. АДФР-ГПТ 1,5 кВт»	1
Лабораторная работа	Лабораторный комплекс «Электрические машины и электропривод. СГ-АДКР 1,5 кВт»	1
Лабораторная работа	Лабораторный комплекс «Электрические машины и электропривод. СД-ДПТ 1,5 кВт»	1
Лабораторная работа	Лабораторный комплекс «Электрические машины и электропривод. Трехфазные трансформаторы»	1
Лекция	Проектор, ноутбук, экран настенный, маркерная доска	1
Практическое занятие	Маркерная доска	1

## 8. Фонд оценочных средств дисциплины

Описан в отдельном документе

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

**ФОНД ОЦЕНОЧНЫХ СРЕДСТВ**

для проведения промежуточной аттестации обучающихся по дисциплине  
«Электрические машины»

*Приложение к рабочей программе дисциплины*

<b>Направление подготовки:</b>	13.03.02 Электроэнергетика и электротехника
<b>Направленность (профиль) образовательной программы:</b>	«Автоматизированный электропривод и робототехнические комплексы»; «Конструирование и технологии в электротехнике»; «Накопители энергии, передача и распределение электрической энергии»; «Электромеханика»; «Электрооборудование автомобилей и электромобили»; «Электроснабжение»
<b>Квалификация выпускника:</b>	«Бакалавр»
<b>Выпускающая кафедра:</b>	Микропроцессорных средств автоматизации
<b>Форма обучения:</b>	Очная
<b>Курс:</b> 2 <b>Семестр:</b> 4	
<b>Трудоёмкость:</b>	
Кредитов по рабочему учебному плану:	6 3Е
Часов по рабочему учебному плану:	216 ч.
<b>Форма промежуточной аттестации:</b>	
Экзамен:	4 семестр
Курсовой проект:	4 семестр

Пермь 2023

**Фонд оценочных средств** для проведения промежуточной аттестации обучающихся 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.

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

Согласно РПД освоение учебного материала дисциплины запланировано в течение одного семестра (5-го семестра учебного плана) и разбито на 4 учебных модуля. В каждом модуле предусмотрены аудиторские лекционные и лабораторные занятия, а также самостоятельная работа студентов. В рамках освоения учебного материала дисциплины формируется 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, сдаче отчетов по лабораторным работам, выполнения практических заданий, курсового проекта и экзамена. 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		Итоговый	
	С	ТО	ОЛР	Т/КР	КП	Экзамен
<b>Усвоенные знания</b>						
<b>ИД-1ОПК-3.</b> Знает: принцип действия современных типов электромеханических устройств и трансформаторов, особенности их конструкции, основные уравнения и схемы замещения; основные законы, теоретические положения и формулы, которые описывают электромеханические и электромагнитные процессы в электрических машинах; основные методы испытаний электрических машин; устройство, основные характеристики и параметры электрических машин и трансформаторов, для осуществления их сравнительного анализа и выбора; основные методы и подходы проектирования электрических машин.		ТО		T1 ... T4		ТВ

Освоенные умения						
<b>ИД-2ОПК-3.</b> Умеет: использовать на практике методы и критерии выбора электрических машин и трансформаторов для систем электроснабжения; использовать на практике методы стандартных испытаний электрических машин; подбирать электрические приборы и собирать схемы для выполнения экспериментальных исследований электрических машин; выполнять работы по расчету и проектированию электромеханических устройств и систем в соответствии с техническими заданиями и использованием стандартных программных средств автоматизации расчетов и проектирования; решать задачи проектирования и эксплуатации электрических машин и трансформаторов.			ОЛР1 ...	ПЗ1 ...	КП	ПЗ
			ОЛР8	ПЗ4		
Приобретенные владения						
<b>ИД-3ОПК-3.</b> Владеет: навыками использования методов и способов математического анализа и моделирования, теоретического и экспериментального исследования для определения электромеханических свойств, параметров и характеристик электрических машин; навыками использования справочной литературы и оформления специальной технической документации при проектировании электрических машин; навыком осуществления выбора электрических машин и трансформаторов при проектировании электромеханических и электроэнергетических систем; навыками выполнения испытаний электрических машин, обработки, анализа и представления результатов экспериментальных исследований.			ОЛР1 ...	ПЗ1 ...	КП	ПЗ
			ОЛР8	ПЗ4		

*С – собеседование по теме; ТО – коллоквиум (теоретический опрос); КЗ – кейс-задача (индивидуальное задание); ОЛР – отчет по лабораторной работе; Т/КР – рубежное тестирование (контрольная работа); ТВ – теоретический вопрос; ПЗ – практическое задание; КП – курсовой проект.*

Итоговой оценкой достижения результатов обучения по дисциплине является промежуточная аттестация в виде экзамена, проводимая с учетом 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 усвоения материала в форме письменного выборочного теоретического опроса студентов 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, усвоенных умений и приобретенных владений (табл. 1.1) проводится в форме защиты лабораторных работ, выполнения практических заданий и рубежного тестирования (после изучения каждого модуля учебной дисциплины).

### **2.2.1. Защита лабораторных работ**

Всего запланировано 8 лабораторных работ. Типовые темы лабораторных работ приведены в РПД.

Защита лабораторной работы проводится индивидуально каждым студентом или группой студентов. Типовые шкала и критерии оценки приведены в общей части ФОС образовательной программы.

### **2.2.2. Практические задания**

Согласно РПД запланировано 4 рубежных практических задания (ПЗ) после освоения студентами учебных модулей дисциплины, первое ПЗ по модулю 1 «Трансформаторы», второе ПЗ – по модулю 2 «Асинхронные машины», третье ПЗ по модулю 3 «Машины постоянного тока», четвертое ПЗ по модулю 4 «Синхронные машины».

#### **Типовые задания первого ПЗ:**

1. Трехфазный трансформатор с номинальной мощностью 63 кВА имеет номинальные линейные напряжения  $U_{1нл}=10$  кВ и  $U_{2нл}=0,4$  кВ. Активная мощность, потребляемая в опыте короткого замыкания при токе  $I_1=1,82$  А составляет  $P_k=320$  Вт, а в опыте холостого хода  $P_{xx}=265$  Вт. Определить максимальный КПД трансформатора при коэффициенте мощности  $\cos\varphi=0,9$ . Схема соединения Y/Y<sub>0</sub>.

2. На параллельную работу включены три трансформатора со следующими значениями номинальных мощностей:  $S_{н1}=400$  кВА,  $S_{н2}=50$  кВА и  $S_{н3}=630$  кВА и напряжений короткого замыкания  $u_{к1}=4\%$ ;  $u_{к2}=4,17\%$ ,  $u_{к3}=4,5\%$ . Определить

нагрузку каждого трансформатора для случая, когда их общая нагрузка равна сумме их номинальных мощностей.

### **Типовые задания второго ПЗ:**

1. ЭДС, индуцируемая в фазе ротора асинхронной машины при скольжении  $S = 0,03$ , равна 6 В. Найти ток в обмотке неподвижного ротора, если активное сопротивление фазы обмотки ротора  $R_2 = 0,01$  Ом, а индуктивность рассеяния  $L_{2s} = 2,2 \cdot 10^{-4}$  Гн. Частота сети 50 Гц.

2. Асинхронный трехфазный двигатель подключен к сети переменного тока частотой 50 Гц и напряжением  $U_c = 220$  В. Четырехполюсная обмотка статора соединена в треугольник. Двигатель потребляет ток  $I_c = 21$  А при  $\cos\varphi = 0,82$ , КПД = 83,7 % и скольжении  $S = 5,3$  %. Определить частоту вращения ротора, мощность, потребляемую из сети, полезную механическую мощность на валу, сумму потерь, полезный момент на валу.

### **Типовые задания третьего ПЗ:**

1. Определить кратность пускового тока двигателя постоянного тока с номинальной мощностью 9,5 кВт при непосредственном включении в сеть напряжением 220 В. Сопротивление цепи якоря 0,27 Ом, КПД двигателя 88 %. Вычислить начальное значение сопротивления пускового реостата при условии понижения начального пускового тока до 2-кратного номинального.

2. Двигатель параллельного возбуждения при номинальном напряжении 220 В потребляет ток 33,2 А и вращается с частотой 1000 об/мин, сопротивление цепи якоря 0,4 Ом, сопротивление цепи обмотки возбуждения 160 Ом. Определить частоту вращения и электромагнитный момент двигателя при включении в цепь якоря дополнительного сопротивления 3 Ом, если ток в обмотке якоря и ток возбуждения остаются при этом неизменными.

### **Типовые задания четвертого ПЗ:**

1. Вращающий момент турбины, приводящий во вращение двухполюсный турбогенератор 81910 Н·м, активная мощность, отдаваемая генератором 25 МВт. Определить механическую мощность, расходуемую на вращение возбудителя, сопряженного с валом генератора, если механические потери в машине 400 кВт, полные магнитные потери 150 кВт, полные электрические потери 45 кВт. Частота тока 50 Гц.

2. В цехе устанавливают синхронный двигатель номинальной мощностью  $P_n = 200$  кВт, коэффициентом полезного действия 93 %, коэффициентом мощности  $\cos\varphi_n = 0,9$ . Двигатель предназначен для работы в режиме перевозбуждения. Определить коэффициент мощности нагрузки после установки синхронного двигателя, если в цехе установлен асинхронный двигатель, потребляющий мощность  $P_{1AD} = 400$  кВт и имеющий  $\cos\varphi_{нАД} = 0,8$ .

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

## **2.3. Промежуточная аттестация (итоговый контроль)**

Допуск к промежуточной аттестации осуществляется по результатам текущего и рубежного контроля. Условиями допуска являются успешная сдача всех

лабораторных работ и практических заданий, положительная интегральная оценка по результатам текущего и рубежного контроля.

Промежуточная аттестация, согласно РПД, проводится в виде экзамена по дисциплине устно по билетам. Билет содержит теоретические вопросы (ТВ) для проверки усвоенных знаний и практические задания (ПЗ) для проверки усвоенных умений и приобретенных владений всех заявленных компетенций.

Билет формируется таким образом, чтобы в него попали вопросы и практические задания, контролирующие уровень сформированности *всех* заявленных компетенций. Форма билета представлена в общей части ФОС образовательной программы.

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

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

1. Совмещение режимов короткого замыкания и режима холостого хода, коэффициент полезного действия трансформатора.

2. Трехфазные трансформаторы, их конструкция и особенности. Условия включения трансформаторов на параллельную работу.

3. Устройство, принцип действия и режимы работы асинхронного двигателя.

4. Энергетическая диаграмма и вращающий (электромагнитный) момент асинхронной машины.

5. Генератор независимого возбуждения.

6. Пуск и реверсирование двигателя постоянного тока.

7. Устройство и принцип действия синхронной машины.

8. Способы синхронизации синхронных машин.

#### **Типовые практические задания для контроля усвоенных умений и приобретенных владений:**

1. Трехфазный трансформатор номинальной мощности  $S_n = XXX$  кВА, при соединении обмоток Y/Y имеет напряжения  $U_{1нл} = XXX$  В,  $U_{2нл} = XXX$  В при частоте XX Гц, действующее значение напряжения, приходящееся на один виток обмотки  $U_{вит} = XXX$  В. Определить число витков обмоток трансформатора  $W_1$ ,  $W_2$ , поперечное сечение проводов первичной  $q_1$  и вторичной  $q_2$  обмоток, поперечное сечение стержня Q, если плотность тока в этих проводах  $XXX$  А/мм<sup>2</sup>, а максимальное значение магнитной индукции в стержне  $B_{m.ct} = XXX$  Тл, коэффициент заполнения стержня сталью  $k = XXX$ .

2. Асинхронная машина с числом пар полюсов  $p = XXX$  включена в трехфазную сеть с частотой 50 Гц. При внешнем моменте, направленном против вращения поля, ротор машины имеет угловую скорость  $\omega_1 = XXX$  рад/с; при моменте, направленном в сторону вращения поля,  $\omega_2 = XXX$  рад/с, а в случае, когда машина включена для одного направления вращения, а под действием внешнего момента вращается в обратную сторону  $\omega_3 = XXX$  рад/с. Определить скольжение и режим работы машины в каждом из этих случаев.

3. Двигатель постоянного тока параллельного возбуждения при номинальном напряжении XXX В потребляет ток XXX А и вращается с частотой XXX об/мин, сопротивление цепи якоря XXX Ом, сопротивление цепи обмотки возбуждения

XXX Ом. Определить частоту вращения и электромагнитный момент двигателя при включении в цепь якоря дополнительного сопротивления XXX Ом, если ток в обмотке якоря и ток возбуждения остаются при этом неизменными.

4. Номинальная мощность гидрогенератора XXX МВА, номинальный коэффициент мощности  $\cos\varphi_n = \text{XXX}$ . Вычислить полные потери и КПД генератора, если механические потери XXX кВт, электрические потери в обмотке якоря с учетом добавочных потерь XXX кВт, магнитные потери с учетом добавочных потерь в магнитопроводе XXX кВт, а мощность, расходуемая на вращение возбудителя XXX кВт.

### **2.3.2. Шкалы оценивания результатов обучения на экзамене**

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

Типовые шкала и критерии оценки результатов обучения при сдаче экзамена для компонентов *знать, уметь и владеть* приведены в общей части ФОС образовательной программы.

### **2.4. Курсовой проект**

Целью курсового проекта является закрепление и углубление знаний по теории электрических машин, а также развитие творческой инженерной инициативы, приобретение или закрепление навыков использования средств вычислительной техники, справочной и специальной технической литературы, навыков выполнения графической работы и оформления технической документации.

Предполагается, что при его выполнении студент должен овладеть определенными навыками анализа исходных данных для расчёта различных элементов электрической машины, научиться правильно определять габаритные размеры и степень защиты с учётом современных тенденции технологии изготовления электрических машин, научиться производить оценку энергетических показателей спроектированной электрической машины.

Тема типового курсового проекта (задание выдаётся по вариантам): «Проектирование и расчёт асинхронного двигателя с фазным (короткозамкнутым) ротором».

Проект включает такие разделы, как:

- а) техническое задание;
- б) выбор главных размеров;
- в) расчет зубцовой зоны статора и ротора;
- г) расчет ротора;
- д) расчет магнитной цепи;
- е) расчет параметров рабочего режима;
- ж) расчет потерь;
- з) расчет рабочих и пусковых характеристик;
- и) тепловой расчёт;

к) заключение о рациональности спроектированной электрической машины для заданных условий работы.

Графическая часть проекта:

– Общий вид с разрезом асинхронного двигателя с использованием расчётных размеров

– Чертёж обмотки статора и ротора в развёрнутом виде

– Чертежи пазов и зубцов статора и ротора в размерах

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

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

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

Типовые критерии и шкалы оценивания уровня сформированности компонентов компетенций приведены в общей части ФОС образовательной программы.

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

Общая оценка уровня сформированности всех 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 образовательной программы.

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