



МИНИСТЕРСТВО СЕЛЬСКОГО ХОЗЯЙСТВА РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ  
ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ  
«РОССИЙСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ АГРАРНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ –  
МСХА имени К.А. ТИМИРЯЗЕВА»  
(ФГБОУ ВО РГАУ – МСХА имени К.А. Тимирязева)

Институт механики и энергетики имени В.П. Горячкина  
Кафедра электропривода и электротехнологий

УТВЕРЖДАЮ:  
И.о. директора института механики  
и энергетики имени В.П. Горячкина

  
Ю.В. Катаев

“22”  2019 г.

## РАБОЧАЯ ПРОГРАММА ДИСЦИПЛИНЫ

### Б1.О.26 «Электрические машины»

для подготовки бакалавров

ФГОС ВО

Направление 13.03.02 Электроэнергетика и электротехника  
Направленность Электроснабжение

Курс 3

Семестр 5

Форма обучения: очная

Год начала подготовки: 2019 г.

Регистрационный номер \_\_\_\_\_

Москва, 2019

Разработчик: Корявых В.С., старший преподаватель

(ФИО, ученая степень, ученое звание)

  
(подпись)

« 15 » января 2019 г.

Рецензент: Белов С.И., к. т. н., доцент

(ФИО, ученая степень, ученое звание)

  
(подпись)

« 15 » января 2019 г.

Программа составлена в соответствии с требованиями ФГОС ВО по направлению подготовки 13.03.02 Электроэнергетика и электротехника и учебного плана

Программа обсуждена на заседании кафедры электропривода и электротехнологий протокол № 04 « 15 » января 2019 г.

Заведующий кафедрой Каблин Н. Е., к. т. н., доцент

(ФИО, ученая степень, ученое звание)

  
(подпись)

#### Согласовано:

Председатель учебно-методической комиссии Института механики и энергетике имени В.П. Горячкина Парлюк Е.П., к.э.н., доцент

(ФИО, ученая степень, ученое звание)

  
(подпись)

Протокол № 09 « 21 » января 2019 г.

Заведующий выпускающей кафедрой электроснабжения и электротехники

имени академика И.А. Будзко Стушкина Н.А., к. т. н., доцент

(ФИО, ученая степень, ученое звание)

  
(подпись)

« 15 » января 2019 г.

Заведующий отделом комплектования ЦНБ 

(подпись)

Л.Л. Иванова

**Бумажный экземпляр РПД, копии электронных вариантов РПД и оценочных материалов дисциплины получены:**

Методический отдел УМУ

« \_\_\_ » \_\_\_\_\_ 201\_\_ г

## СОДЕРЖАНИЕ

<b>АННОТАЦИЯ</b> .....	<b>4</b>
<b>1. ЦЕЛЬ ОСВОЕНИЯ ДИСЦИПЛИНЫ</b> .....	<b>5</b>
<b>2. МЕСТО ДИСЦИПЛИНЫ В УЧЕБНОМ ПРОЦЕССЕ</b> .....	<b>6</b>
<b>3. ПЕРЕЧЕНЬ ПЛАНИРУЕМЫХ РЕЗУЛЬТАТОВ ОБУЧЕНИЯ ПО ДИСЦИПЛИНЕ, СООТНЕСЕННЫХ С ПЛАНИРУЕМЫМИ РЕЗУЛЬТАТАМИ ОСВОЕНИЯ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЙ ПРОГРАММЫ</b> .....	<b>6</b>
<b>4. СТРУКТУРА И СОДЕРЖАНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ</b> .....	<b>8</b>
4.1 РАСПРЕДЕЛЕНИЕ ТРУДОЁМКОСТИ ДИСЦИПЛИНЫ ПО ВИДАМ РАБОТ В СЕМЕСТРЕ .....	8
4.2 СОДЕРЖАНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ.....	8
4.3 ЛЕКЦИИ/ЛАБОРАТОРНЫЕ/ПРАКТИЧЕСКИЕ ЗАНЯТИЯ.....	12
4.4 САМОСТОЯТЕЛЬНОЕ ИЗУЧЕНИЕ РАЗДЕЛОВ ДИСЦИПЛИНЫ .....	18
<b>5. ОБРАЗОВАТЕЛЬНЫЕ ТЕХНОЛОГИИ</b> .....	<b>19</b>
<b>6. ТЕКУЩИЙ КОНТРОЛЬ УСПЕВАЕМОСТИ И ПРОМЕЖУТОЧНАЯ АТТЕСТАЦИЯ ПО ИТОГАМ ОСВОЕНИЯ ДИСЦИПЛИНЫ</b> .....	<b>20</b>
6.1. ТИПОВЫЕ КОНТРОЛЬНЫЕ ЗАДАНИЯ ИЛИ ИНЫЕ МАТЕРИАЛЫ, НЕОБХОДИМЫЕ ДЛЯ ОЦЕНКИ ЗНАНИЙ, УМЕНИЙ И НАВЫКОВ И (ИЛИ) ОПЫТА ДЕЯТЕЛЬНОСТИ .....	21
6.2. ОПИСАНИЕ ПОКАЗАТЕЛЕЙ И КРИТЕРИЕВ КОНТРОЛЯ УСПЕВАЕМОСТИ, ОПИСАНИЕ ШКАЛ ОЦЕНИВАНИЯ .....	30
<b>7. УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКОЕ И ИНФОРМАЦИОННОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ</b> .....	<b>31</b>
7.1 ОСНОВНАЯ ЛИТЕРАТУРА .....	31
7.2 ДОПОЛНИТЕЛЬНАЯ ЛИТЕРАТУРА.....	32
7.3 НОРМАТИВНЫЕ ПРАВОВЫЕ АКТЫ .....	32
7.4 МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ, РЕКОМЕНДАЦИИ И ДРУГИЕ МАТЕРИАЛЫ К .....	33
ЗАНЯТИЯМ .....	33
<b>8. ПЕРЕЧЕНЬ РЕСУРСОВ ИНФОРМАЦИОННО-ТЕЛЕКОММУНИКАЦИОННОЙ СЕТИ «ИНТЕРНЕТ», НЕОБХОДИМЫХ ДЛЯ ОСВОЕНИЯ ДИСЦИПЛИНЫ (МОДУЛЯ)</b> .....	<b>33</b>
<b>9. ПЕРЕЧЕНЬ ПРОГРАММНОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ И ИНФОРМАЦИОННЫХ СПРАВОЧНЫХ СИСТЕМ</b> .....	<b>35</b>
<b>10. ОПИСАНИЕ МАТЕРИАЛЬНО-ТЕХНИЧЕСКОЙ БАЗЫ, НЕОБХОДИМОЙ ДЛЯ ОСУЩЕСТВЛЕНИЯ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОГО ПРОЦЕССА ПО ДИСЦИПЛИНЕ</b> .....	<b>36</b>
<b>11. МЕТОДИЧЕСКИЕ РЕКОМЕНДАЦИИ СТУДЕНТАМ ПО ОСВОЕНИЮ ДИСЦИПЛИНЫ</b> .....	<b>37</b>
Виды и формы отработки пропущенных занятий .....	38
<b>12. МЕТОДИЧЕСКИЕ РЕКОМЕНДАЦИИ ПРЕПОДАВАТЕЛЯМ ПО ОРГАНИЗАЦИИ ОБУЧЕНИЯ ПО ДИСЦИПЛИНЕ</b> .....	<b>38</b>

## Аннотация

рабочей программы учебной дисциплины Б1.О.26 «Электрические машины» для подготовки бакалавра по направлению 13.03.02 Электроэнергетика и электротехника, направленность Электроснабжение

**Цель освоения дисциплины:** освоение студентами теоретических и практических знаний и приобретение умений и навыков в области использования электрических машин в технологических процессах сельскохозяйственного производства для их электрификации и автоматизации и способности:

- использовать методы анализа и моделирования электрических цепей и электрических машин;
- использовать методы расчета электрических и магнитных цепей, электрических машин.

**Место дисциплины в учебном плане:** дисциплина «Электрические машины» включена в обязательную часть учебного плана по направлению подготовки 13.03.02 Электроэнергетика и электротехника.

**Требования к результатам освоения дисциплины:** в результате освоения дисциплины формируются следующие компетенции (индикаторы достижения компетенции): ОПК-3 (ОПК-3.3, ОПК-3.5, ОПК-3.6).

**Краткое содержание дисциплины:**

### **Трансформаторы.**

Роль электромеханики в жизни современного общества. Вклад отечественных и зарубежных ученых в развитие электротехники и электромеханики. Устройство силовых трансформаторов, области применения. Масляные и сухие трансформаторы, конструкции баков. Процессы в трансформаторе в режимах холостого хода и короткого замыкания. Основные эксплуатационные характеристики трансформатора. Несимметричные режимы работы трансформаторов. Схемы и группы соединения обмоток трансформаторов. Условия включения трансформаторов на параллельную работу и их анализ. Трехобмоточные трансформаторы, автотрансформаторы, сварочные трансформаторы. Распределительные и блочные трехобмоточные трансформаторы. Конструктивные особенности автотрансформаторов, схемы включения обмоток, основные соотношения. Область применения автотрансформаторов, их преимущества и недостатки.

### **Асинхронные машины.**

Общие вопросы теории электрических машин переменного тока. Краткая историческая справка. Конструктивные особенности, основные соотношения и режимы работы асинхронных машин, схема замещения. Области использования асинхронных двигателей, достоинства и недостатки. Двигатели с фазным ротором и с ротором типа «беличья клетка». Режимы работы асинхронной машины: двигательный, генераторный и электромагнитного тормоза. Уравнения напряжения и МДС двигателя. Схемы замещения, векторная и энергетическая диаграммы двигателя. Механическая характеристика асинхронного двигателя. Пуск и регулирование частоты вращения асинхронных двигателей. Пуск двигателей с фазным ротором. Пуск двигателей с обмоткой ротора типа «беличья

клетка». Пуск двигателей с обмоткой ротора специального исполнения. Однофазный асинхронный двигатель. Конденсаторный двигатель.

### **Синхронные машины.**

Области применения, устройство и режимы работы синхронных машин. Назначение, области применения и принцип действия синхронных машин. Системы возбуждения, явнополюсные и неявнополюсные машины. Векторная диаграмма синхронного генератора при различном характере нагрузки. Характеристика генератора при автономной нагрузке. Параллельная работа синхронных машин. Условия включения синхронного генератора на параллельную работу с сетью большой мощности. Параллельная работа генераторов соизмеримой мощности. Синхронные двигатели и компенсаторы. Области использования синхронных двигателей. Способы пуска синхронного двигателя, назначение пусковой обмотки. Рабочие характеристики двигателя. Индукторные синхронные генераторы.

### **Машины постоянного тока**

Особенности устройства, принцип действия и области применения машин постоянного тока. Краткая историческая справка. Устройство и принцип действия машины постоянного тока. Характеристики генераторов постоянного тока. Схемы возбуждения, потери мощности и энергетическая диаграмма. ЭДС обмотки якоря. Уравнения равновесия напряжений. Характеристики генераторов при различном включении обмоток возбуждения. Параллельная работа генераторов. Характеристики двигателей постоянного тока. Уравнение равновесия напряжений. Характеристики двигателей при различном включении обмоток возбуждения. Пуск и регулирование частоты вращения двигателей постоянного тока. Способы пуска двигателей. Способы регулирования скорости. Специальные машины постоянного тока. Электромагнитный усилитель. Универсальный коллекторный двигатель. Исполнительный двигатель, тахогенераторы: тахогенератор постоянного тока, синхронный тахогенератор, асинхронный тахогенератор. Однофазный сельсин: устройство, назначение, особенности работы в индикаторном режиме. Однофазный сельсин: устройство, назначение, особенности работы в трансформаторном режиме.

**Общая трудоемкость дисциплины:** 7 зач. единиц (252 часа).

**Промежуточный контроль:** защита курсовой работы, экзамен.

## **1. Цель освоения дисциплины**

**Целью освоения дисциплины** «Электрические машины» является освоение студентами теоретических и практических знаний и приобретение умений и навыков в области использования электрических машин в технологических процессах сельскохозяйственного производства для их электрификации и автоматизации и способностью:

- использовать методы анализа и моделирования электрических цепей и электрических машин;
- использовать методы расчета электрических и магнитных цепей, электрических машин.

Дисциплина «Электрические машины» является в своей основе теоретической и способствует развитию у студентов логического и абстрактного мышления с практической реализацией ее содержания.

В результате изучения данной дисциплины студенты должны:

- знать и понимать принцип действия современных типов электрических машин;
- знать особенности их устройства, уравнения, схемы замещения и характеристики;
- иметь общее представление о проектировании и испытаниях электрических машин;
- уметь использовать полученные знания по электрическим машинам при решении практических задач в области электроснабжения;
- владеть навыками элементарных расчетов и испытаний электрических машин.

## **2. Место дисциплины в учебном процессе**

Дисциплина «Электрические машины» включена в обязательную часть учебного плана. Дисциплина «Электрические машины» реализуется в соответствии с требованиями ФГОС, ОПОП ВО и Учебного плана направления подготовки 13.03.02 Электроэнергетика и электротехника, направленность Электро-снабжение.

Предшествующими курсами, на которых непосредственно базируется дисциплина «Электрические машины» являются курсы: электротехнические материалы (1 курс, 1 семестр), введение в профессиональную деятельность (1 курс, 1 семестр), информатика (1 курс, 1 семестр), математика (1 курс, 1-2 семестры; 2 курс, 3 семестр), физика (1 курс, 2 семестр; 2 курс, 2-3 семестры), теоретические основы электротехники (2 курс, 3-4 семестры), компьютерное проектирование (2 курс, 3 семестр), цифровые технологии (2 курс, 4 семестр).

Дисциплина «Электрические машины» является основополагающей для изучения следующих дисциплин: электропривод (3 курс, 6 семестр), электро-снабжение (4 курс, 7 семестр), управление электроприводами (4 курс, 7 семестр), надежность систем электроснабжения (4 курс, 7 семестр), электрические станции и подстанции (4 курс, 7 семестр), эксплуатация систем электроснабжения (4 курс, 8 семестр).

Данная дисциплина «Электрические машины» используется при подготовке студентами выпускных квалификационных работ.

Рабочая программа дисциплины «Электрические машины» для инвалидов и лиц с ограниченными возможностями здоровья разрабатывается индивидуально с учетом особенностей психофизического развития, индивидуальных возможностей и состояния здоровья таких обучающихся.

## **3. Перечень планируемых результатов обучения по дисциплине, соотнесенных с планируемыми результатами освоения образовательной программы**

Изучение данной учебной дисциплины направлено на формирование у обучающихся компетенций, представленных в таблице 1.

Таблица 1

**Требования к результатам освоения учебной дисциплины**

№ п/п	Код компетенции	Содержание компетенции (или её части)	Код и содержание индикатора достижения компетенции (или её части)	В результате изучения учебной дисциплины обучающиеся должны:		
				знать	уметь	владеть
1.	ОПК-3	способен использовать методы анализа и моделирования электрических цепей и электрических машин	ОПК-3.3 Применяет знания основ теории электромагнитного поля и цепей с распределенными параметрами	основы теории электромагнитного поля и цепей с распределенными параметрами	применять основы теории электромагнитного поля и цепей с распределенными параметрами	методы применения основ теории электромагнитного поля и цепей с распределенными параметрами
			ОПК-3.5 Анализирует установленные режимы работы трансформаторов и вращающихся электрических машин различных типов, использует знание их режимов работы и характеристик	режимы работы трансформаторов и вращающихся электрических машин	использовать знания по режимам работы трансформаторов и вращающихся электрических машин	методами анализа режимов работы трансформаторов и вращающихся электрических машин
			ОПК-3.6 Применяет знания функций и основных характеристик электрических и электронных аппаратов	основные характеристики электрических машин	использовать знания основных характеристик электрических машин систем электроснабжения	методами использования электрических машин систем электроснабжения

## 4. Структура и содержание дисциплины

### 4.1 Распределение трудоёмкости дисциплины по видам работ в семестре

Общая трудоёмкость дисциплины составляет 7 зач.ед. (252 часа), их распределение по видам работ в семестре № 5 представлено в таблице 2.

Таблица 2

#### Распределение трудоёмкости дисциплины по видам работ в семестре

Вид учебной работы	Трудоёмкость	
	час.	в т.ч.
		семестре № 5
<b>Общая трудоёмкость дисциплины по учебному плану</b>	<b>252</b>	<b>252</b>
<b>1. Контактная работа:</b>	<b>102,4</b>	<b>102,4</b>
<b>Аудиторная работа</b>	<b>102,4</b>	<b>102,4</b>
<i>в том числе:</i>		
<i>лекции (Л)</i>	48	48
<i>практические занятия (ПЗ)</i>	16	16
<i>лабораторные работы (ЛР)</i>	34	34
<i>курсовая работа (КР) (консультация, защита)</i>	2	2
<i>консультации перед экзаменом</i>	2	2
<i>контактная работа на промежуточном контроле (КРА)</i>	0,4	0,4
<b>2. Самостоятельная работа (СРС)</b>	<b>149,6</b>	<b>149,6</b>
<i>курсовая работа (КР) (подготовка)</i>	36	36
<i>самостоятельное изучение разделов, самоподготовка (проработка и повторение лекционного материала и материала учебников и учебных пособий, подготовка к лабораторным и практическим занятиям.)</i>	80	80
Подготовка к экзамену (контроль)	33,6	33,6
Вид промежуточного контроля:	Защита КР, экзамен	

### 4.2 Содержание дисциплины

Таблица 3

#### Тематический план учебной дисциплины

Наименование разделов и тем дисциплин (укрупнёно)	Всего	Аудиторная работа				Внеаудиторная работа СР
		Л	ПЗ	ЛР	ПКР	
Раздел 1 «Трансформаторы»	72	16	4	6		46
Раздел 2 «Асинхронные машины»	66	18	6	12		30
Раздел 3 «Синхронные машины»	38	8	2	6		22
Раздел 4 «Машины постоянного тока»	38	6	4	10		18
<i>курсовая работа (КР) (консультация, защита)</i>	2				2	
<i>консультации перед экзаменом</i>	2				2	
<i>контактная работа на промежуточном контроле (КРА)</i>	0,4				0,4	
Подготовка к экзамену (контроль)	33,6					33,6
<b>Всего за 5 семестр</b>	<b>252</b>	<b>48</b>	<b>16</b>	<b>34</b>	<b>4,4</b>	<b>149,6</b>
<b>Итого по дисциплине</b>	<b>252</b>	<b>48</b>	<b>16</b>	<b>34</b>	<b>4,4</b>	<b>149,6</b>

## **Раздел 1. Трансформаторы**

### **Тема 1. Роль электромеханики в жизни современного общества**

Рассматриваемые вопросы.

Роль электромеханики в жизни современного общества. Вклад отечественных и зарубежных ученых в развитие электротехники и электромеханики.

### **Тема 2. Устройство силовых трансформаторов, области применения**

Рассматриваемые вопросы.

Устройство трансформаторов: магнитные системы, обмотки. Масляные и сухие трансформаторы, конструкции баков. Двух- и трехобмоточные трансформаторы. Преобразователи электрической энергии в трансформаторе.

**Тема 3. Процессы в трансформаторе в режимах холостого хода и короткого замыкания**

Рассматриваемые вопросы.

Основной магнитный поток и потоки рассеяния. ЭДС обмоток. Коэффициент трансформации. Потери и то холостого хода.

Эксплуатационное короткое замыкание и опыт к. з. Напряжение короткого замыкания, физическая сущность. Потери короткого замыкания.

### **Тема 4. Процессы в трансформаторе при нагрузке**

Рассматриваемые вопросы.

Уравнения равновесия напряжений и МДС. Приведенный трансформатор. Основные эксплуатационные характеристики трансформатора. Регулирование напряжения без возбуждения трансформатора и под нагрузкой. Несимметричные режимы работы трансформаторов.

Схемы и группы соединения обмоток трансформаторов. Условия включения трансформаторов на параллельную работу и их анализ. Нагрев и охлаждения трансформаторов.

### **Тема 5. Переходные процессы в трансформаторах**

Рассматриваемые вопросы.

Переходные процессы в трансформаторах: при включении на холостой ход и при внезапном коротком замыкании. Анализ токов тока трансформатора и их влияния на его работу.

**Тема 6. Трехобмоточные трансформаторы, автотрансформаторы, сварочные трансформаторы**

Рассматриваемые вопросы.

Распределительные и блочные трехобмоточные трансформаторы. Конструктивные особенности автотрансформаторов, схемы включения обмоток, основные соотношения. Область применения автотрансформаторов, их преимущества и недостатки. Сварочные трансформаторы, внешняя характеристика.

## **Раздел 2. Асинхронные машины**

### **Тема 1. Общие вопросы теории электрических машин переменного тока**

Рассматриваемые вопросы.

Краткая историческая справка. Условия создания вращающегося магнитного поля трехфазной распределенной обмотки. Формула для синхронной скорости вращения поля. Построение схем трехфазной распределенной обмотки.

**Тема 2.** Конструктивные особенности, основные соотношения и режимы работы асинхронных машин, схема замещения

Рассматриваемые вопросы.

Области использования асинхронных двигателей, достоинства и недостатки. Номинальные данные двигателей. Единые серии двигателей. Двигатели с фазным ротором и с ротором типа «беличья клетка». Понятие скольжения и основные электрические величины ротора. Режимы работы асинхронной машины: двигательный, генераторный и электромагнитного тормоза.

Уравнения напряжения и МДС двигателя. Схемы замещения, векторная и энергетическая диаграммы двигателя. Коэффициент полезного действия и коэффициент мощности двигателя.

**Тема 3.** Механическая характеристика асинхронного двигателя

Рассматриваемые вопросы.

Механическая характеристика двигателя. Формулы для электромагнитного момента. Графическая интерпретация, характерные точки. Перегрузочная способность двигателя. Зависимость критического скольжения, максимального и пускового моментов от параметров схемы замещения двигателя. Статическая устойчивость системы «Асинхронный двигатель – Рабочий механизм».

**Тема 4.** Пуск и регулирование частоты вращения асинхронных двигателей

Рассматриваемые вопросы.

Пуск двигателей с фазным ротором. Пуск двигателей с обмоткой ротора типа «беличья клетка». Пуск двигателей с обмоткой ротора специального исполнения. Регулирование частоты вращения двигателей с фазным ротором и с обмоткой ротора типа «беличья клетка».

**Тема 5.** Однофазный асинхронный двигатель

Рассматриваемые вопросы.

Способы создания пускового момента. Конденсаторный двигатель. Трехфазный двигатель при однофазном включении с конденсатором.

### **Раздел 3.** Синхронные машины

**Тема 1.** Области применения, устройство и режимы работы синхронных машин

Рассматриваемые вопросы.

Назначение, области применения и принцип действия синхронных машин. Системы возбуждения, явнополюсные и неявнополюсные машины. Диапазон мощностей синхронных генераторов и двигателей. Номинальные данные синхронных машин.

**Тема 2.** Магнитное поле, параметры и характеристики синхронной машины

Рассматриваемые вопросы.

Магнитное поле в режиме холостого хода и при нагрузке. Реакция якоря, составляющие по продольной и поперечной осям. Индуктивные сопротивления неявнополюсной и явнополюсной синхронной машины. Векторная диаграмма синхронного генератора при различном характере нагрузки. Характеристика генератора при автономной нагрузке.

**Тема 3.** Параллельная работа синхронных машин

Рассматриваемые вопросы.

Условия включения синхронного генератора на параллельную работу с сетью большой мощности. Способы синхронизации генератора с сетью. Регулирование активной и реактивной мощностей. Угловая и  $V$  – образная характеристики. Параллельная работа генераторов соизмеримой мощности.

**Тема 4.** Синхронные двигатели и компенсаторы

Рассматриваемые вопросы.

Области использования синхронных двигателей. Способы пуска синхронного двигателя, назначение пусковой обмотки. Рабочие характеристики двигателя. Синхронный компенсатор: назначения,  $V$  – образная характеристика.

**Тема 5.** Специальные синхронные машины

Рассматриваемые вопросы.

Индукторные синхронные генераторы. Генераторы для ветроустановок и для малых ГЭС. Синхронные микродвигатели

#### **Раздел 4.** Машины постоянного тока

**Тема 1.** Особенности устройства, принцип действия и области применения машин постоянного тока

Рассматриваемые вопросы.

Краткая историческая справка. Устройство и принцип действия машины постоянного тока. Коллектор. Обмотки возбуждения. Якорные обмотки машин постоянного тока. Магнитное поле машины при холостом ходе и при нагрузке. Реакция якоря. Компенсационная обмотка. Коммутация в машинах постоянного тока. Области применения машин постоянного тока.

**Тема 2.** Характеристики генераторов постоянного тока

Рассматриваемые вопросы.

Схемы возбуждения, потери мощности и энергетическая диаграмма. ЭДС обмотки якоря. Уравнения равновесия напряжений. Электромагнитный момент. Характеристики генераторов при различном включении обмоток возбуждения. Параллельная работа генераторов.

**Тема 3.** Характеристики двигателей постоянного тока

Рассматриваемые вопросы.

Потери мощности и энергетическая диаграмма. Противо – ЭДС обмотки якоря. Уравнение равновесия напряжений. Электромагнитный момент. Характеристики двигателей при различном включении обмоток возбуждения.

**Тема 4.** Пуск и регулирование частоты вращения двигателей постоянного тока

Рассматриваемые вопросы.

Способы пуска двигателей. Способы регулирования скорости.

**Тема 5.** Специальные машины постоянного тока

Рассматриваемые вопросы.

Электромагнитный усилитель. Универсальный коллекторный двигатель. Исполнительный двигатель, тахогенераторы: тахогенератор постоянного тока, синхронный тахогенератор, асинхронный тахогенератор.

Однофазный сельсин: устройство, назначение, особенности работы в индикаторном режиме.

Однофазный сельсин: устройство, назначение, особенности работы в трансформаторном режиме.

### 4.3 Лекции/лабораторные/практические занятия

Таблица 4

#### Содержание лекций/лабораторного практикума/практических занятий и контрольные мероприятия

№ п/п	Номера и наименование разделов, тем	№ и название лекций/лабораторных/практических занятий	Формируемые компетенции (индикаторы достижения компетенции)	Вид контрольного мероприятия	Кол-во часов
2.	<b>Раздел 1 «Трансформаторы»</b>				<b>26</b>
	<b>Тема 1.</b> Роль электромеханики в жизни современного общества <b>Тема 2.</b> Устройство силовых трансформаторов, области применения	Лекция № 1. Роль электромеханики в жизни современного общества. Устройство силовых трансформаторов, области применения.	ОПК-3 (ОПК-3.3, ОПК-3.5, ОПК-3.6)		2
	<b>Тема 3.</b> Процессы в трансформаторе в режимах холостого хода и короткого замыкания	Лекция № 2. Процессы в трансформаторе в режиме холостого хода.	ОПК-3 (ОПК-3.3, ОПК-3.5, ОПК-3.6)		2
		Лекция № 3. Процессы в трансформаторе в режиме короткого замыкания.	ОПК-3 (ОПК-3.3, ОПК-3.5, ОПК-3.6)		2
		Лабораторная работа № 1. Исследование трехфазного двухобмоточного трансформатора.	ОПК-3 (ОПК-3.3, ОПК-3.5, ОПК-3.6)	Защита лабораторной работы	2
		Практическое занятие № 1. Определение параметров T-образной схемы замещения трансформатора по его паспортным данным.	ОПК-3 (ОПК-3.3, ОПК-3.5, ОПК-3.6)	Дискуссия Устный опрос Тестирование Решение задач	2
	<b>Тема 4.</b> Процессы в трансформаторе при нагрузке	Лекция № 4. Процессы в трансформаторе при нагрузке.	ОПК-3 (ОПК-3.3, ОПК-3.5, ОПК-3.6)		2
		Лекция № 5. Работа трансформатора при не симметрии напряжения.	ОПК-3 (ОПК-3.3, ОПК-3.5, ОПК-3.6)		2
		Практическое занятие	ОПК-3	Устный опрос	2

№ п/п	Номера и наименование разделов, тем	№ и название лекций/лабораторных/практических занятий	Формируемые компетенции (индикаторы достижения компетенции)	Вид контрольного мероприятия	Кол-во часов
		№ 2. Построение векторной диаграммы трансформатора под нагрузкой.	(ОПК-3.3, ОПК-3.5, ОПК-3.6)	Решение задач	
		Лабораторная работа № 2. Исследование параллельной работы трехфазных трансформаторов.	ОПК-3 (ОПК-3.3, ОПК-3.5, ОПК-3.6)	Защита лабораторной работы	2
		Лабораторная работа № 3. Исследование несимметричных нагрузок трехфазного трехстержневого двухобмоточного трансформатора.	ОПК-3 (ОПК-3.3, ОПК-3.5, ОПК-3.6)	Защита лабораторной работы	2
	<b>Тема 5. Переходные процессы в трансформаторах</b>	Лекция № 6. Переходные процессы в трансформаторах.	ОПК-3 (ОПК-3.3, ОПК-3.5, ОПК-3.6)		2
	<b>Тема 6. Трехобмоточные трансформаторы, автотрансформаторы, сварочные трансформаторы</b>	Лекция № 7. Трехобмоточные трансформаторы.	ОПК-3 (ОПК-3.3, ОПК-3.5, ОПК-3.6)		2
		Лекция № 8. Автотрансформаторы, сварочные трансформаторы.	ОПК-3 (ОПК-3.3, ОПК-3.5, ОПК-3.6)		2
2	<b>Раздел 2 «Асинхронные машины»</b>				<b>36</b>
	<b>Тема 1. Общие вопросы теории электрических машин переменного тока</b>	Лекция № 9. Общие вопросы теории электрических машин переменного тока.	ОПК-3 (ОПК-3.3, ОПК-3.5, ОПК-3.6)		2
		Лабораторная работа № 4. Трехфазная асинхронная машина с неподвижным ротором.	ОПК-3 (ОПК-3.3, ОПК-3.5, ОПК-3.6)	Защита лабораторной работы	2
	<b>Тема 2. Конструктивные особенности, основные соотношения и режимы работы асинхронных машин, схема замещения</b>	Лекция № 10. Конструктивные особенности, основные соотношения и режимы работы асинхронных машин.	ОПК-3 (ОПК-3.3, ОПК-3.5, ОПК-3.6)		2
		Лекция № 11. Т- и Г-образные схемы замещения асинхронной машины.	ОПК-3 (ОПК-3.3, ОПК-3.5, ОПК-3.6)		2

№ п/п	Номера и наименование разделов, тем	№ и название лекций/лабораторных/практических занятий	Формируемые компетенции (индикаторы достижения компетенции)	Вид контрольного мероприятия	Кол-во часов
		Лабораторная работа № 5. Исследование трехфазного асинхронного двигателя в режиме генератора.	ОПК-3 (ОПК-3.3, ОПК-3.5, ОПК-3.6)	Защита лабораторной работы	2
		Лабораторная работа № 6. Трехфазный асинхронный двигатель с обмоткой ротора типа «беличья клетка».	ОПК-3 (ОПК-3.3, ОПК-3.5, ОПК-3.6)	Защита лабораторной работы	2
		Практическое занятие № 3. Определение параметров схемы замещения асинхронного двигателя по данным опытов холостого хода и короткого замыкания.	ОПК-3 (ОПК-3.3, ОПК-3.5, ОПК-3.6)	Устный опрос	2
		Практическое занятие № 4. Построение круговой (векторной) диаграммы асинхронной машины.	ОПК-3 (ОПК-3.3, ОПК-3.5, ОПК-3.6)	Устный опрос Решение задач	2
		Практическое занятие № 5. Построение рабочих характеристик асинхронного двигателя на основе круговой диаграммы.	ОПК-3 (ОПК-3.3, ОПК-3.5, ОПК-3.6)	Устный опрос Тестирование Решение задач	2
	<b>Тема 3. Механическая характеристика асинхронного двигателя</b>	Лекция № 12. Механическая характеристика асинхронного двигателя. Кратности моментов и токов асинхронного двигателя.	ОПК-3 (ОПК-3.3, ОПК-3.5, ОПК-3.6)		2
		Лабораторная работа № 7. Трехфазный асинхронный двигатель с фазным ротором.	ОПК-3 (ОПК-3.3, ОПК-3.5, ОПК-3.6)	Защита лабораторной работы	2
		Лабораторная работа № 8. Испытание асинхронного двигателя с повышенным пусковым моментом.	ОПК-3 (ОПК-3.3, ОПК-3.5, ОПК-3.6)	Защита лабораторной работы	2

№ п/п	Номера и наименование разделов, тем	№ и название лекций/лабораторных/практических занятий	Формируемые компетенции (индикаторы достижения компетенции)	Вид контрольного мероприятия	Кол-во часов
		Лекция № 13. Устойчивость работы системы «Асинхронный двигатель – Рабочий механизм».	ОПК-3 (ОПК-3.3, ОПК-3.5, ОПК-3.6)		2
	<b>Тема 4.</b> Пуск и регулирование частоты вращения асинхронных двигателей	Лекция № 14. Пуск и регулирование частоты вращения асинхронных двигателей. Пуск асинхронного двигателя с фазным ротором.	ОПК-3 (ОПК-3.3, ОПК-3.5, ОПК-3.6)		2
		Лекция № 15. Пуск асинхронного двигателя с короткозамкнутым ротором.	ОПК-3 (ОПК-3.3, ОПК-3.5, ОПК-3.6)		2
	<b>Тема 5.</b> Однофазный асинхронный двигатель	Лекция № 16. Однофазный конденсаторный асинхронный двигатель.	ОПК-3 (ОПК-3.3, ОПК-3.5, ОПК-3.6)		2
		Лекция № 17. Трехфазный асинхронный двигатель в схеме однофазного включения с конденсатором.	ОПК-3 (ОПК-3.3, ОПК-3.5, ОПК-3.6)		2
		Лабораторная работа № 9. Трехфазный асинхронный двигатель в однофазном режиме	ОПК-3 (ОПК-3.3, ОПК-3.5, ОПК-3.6)	Защита лабораторной работы	2
3	<b>Раздел 3 «Синхронные машины»</b>				<b>16</b>
	<b>Тема 1.</b> Области применения, устройство и режимы работы синхронных машин	Лекция № 18. Области применения, устройство и режимы работы синхронных машин.	ОПК-3 (ОПК-3.3, ОПК-3.5, ОПК-3.6)		2
	<b>Тема 2.</b> Магнитное поле, параметры и характеристики синхронной машины	Лекция № 19. Магнитное поле, параметры и характеристики синхронной машины.	ОПК-3 (ОПК-3.3, ОПК-3.5, ОПК-3.6)		2
		Практическое занятие № 6. Построение векторной диаграммы синхронного генератора с неявновыраженными полюсами при различных видах	ОПК-3 (ОПК-3.3, ОПК-3.5, ОПК-3.6)	Устный опрос Тестирование Решение задач	2

№ п/п	Номера и наименование разделов, тем	№ и название лекций/лабораторных/практических занятий	Формируемые компетенции (индикаторы достижения компетенции)	Вид контрольного мероприятия	Кол-во часов
		нагрузки.			
		Лабораторная работа № 10. Испытание трехфазного синхронного генератора, работающего на автономную сеть.	ОПК-3 (ОПК-3.3, ОПК-3.5, ОПК-3.6)	Защита лабораторной работы	2
		Лабораторная работа № 11. Опытное определение параметров явнополюсного синхронного генератора	ОПК-3 (ОПК-3.3, ОПК-3.5, ОПК-3.6)	Защита лабораторной работы	2
	<b>Тема 3.</b> Параллельная работа синхронных машин	Лекция № 20. Параллельная работа синхронных машин.	ОПК-3 (ОПК-3.3, ОПК-3.5, ОПК-3.6)		2
		Лабораторная работа № 12. Параллельная работа синхронного генератора с сетью бесконечно большой мощности.	ОПК-3 (ОПК-3.3, ОПК-3.5, ОПК-3.6)	Защита лабораторной работы	2
	<b>Тема 4.</b> Синхронные двигатели и компенсаторы	Лекция № 21. Синхронные двигатели и компенсаторы.	ОПК-3 (ОПК-3.3, ОПК-3.5, ОПК-3.6)		1
	<b>Тема 5.</b> Специальные синхронные машины	Лекция № 21. Специальные синхронные машины.	ОПК-3 (ОПК-3.3, ОПК-3.5, ОПК-3.6)		1
4	<b>Раздел 4 «Машины постоянного тока»</b>				<b>20</b>
	<b>Тема 1.</b> Особенности устройства, принцип действия и области применения машин постоянного тока	Лекция № 22. Особенности устройства, принцип действия и области применения машин постоянного тока	ОПК-3 (ОПК-3.3, ОПК-3.5, ОПК-3.6)		1
	<b>Тема 2.</b> Характеристики генераторов постоянного тока	Лекция № 22. Характеристики генераторов постоянного тока.	ОПК-3 (ОПК-3.3, ОПК-3.5, ОПК-3.6)		1
		Лабораторная работа № 13. Исследование генератора постоянного тока при различных способах возбуждения.	ОПК-3 (ОПК-3.3, ОПК-3.5, ОПК-3.6)	Защита лабораторной работы	2
	<b>Тема 3.</b> Характе-	Лекция № 23. Характе-	ОПК-3		1

№ п/п	Номера и наименование разделов, тем	№ и название лекций/лабораторных/практических занятий	Формируемые компетенции (индикаторы достижения компетенции)	Вид контрольного мероприятия	Кол-во часов
	ристики двигателей постоянного тока	теристики двигателей постоянного тока.	(ОПК-3.3, ОПК-3.5, ОПК-3.6)		
		Лабораторная работа № 14. Исследование двигателя постоянного тока с параллельным возбуждением.	ОПК-3 (ОПК-3.3, ОПК-3.5, ОПК-3.6)	Защита лабораторной работы	2
	<b>Тема 4.</b> Пуск и регулирование частоты вращения двигателей постоянного тока	Лекция № 23, № 24. Пуск и регулирование частоты вращения двигателей постоянного тока.	ОПК-3 (ОПК-3.3, ОПК-3.5, ОПК-3.6)		2
		Практическое занятие № 7. Расчет пусковых сопротивлений для двигателей постоянного тока с различными схемами возбуждения.	ОПК-3 (ОПК-3.3, ОПК-3.5, ОПК-3.6)	Устный опрос Решение задач	2
		Практическое занятие № 8. Расчет регулировочных сопротивлений для двигателей постоянного тока с различными схемами возбуждения.	ОПК-3 (ОПК-3.3, ОПК-3.5, ОПК-3.6)	Устный опрос Тестирование Решение задач	2
		Лабораторная работа № 15. Исследование двигателя постоянного тока с последовательным возбуждением.	ОПК-3 (ОПК-3.3, ОПК-3.5, ОПК-3.6)	Защита лабораторной работы	2
	<b>Тема 5.</b> Специальные машины постоянного тока	Лекция № 24. Специальные машины постоянного тока.	ОПК-3 (ОПК-3.3, ОПК-3.5, ОПК-3.6)		1
		Лабораторная работа № 16. Исследование тахогенераторов.	ОПК-3 (ОПК-3.3, ОПК-3.5, ОПК-3.6)	Защита лабораторной работы	2
		Лабораторная работа № 17. Исследование электромашинного усилителя (ЭМУ).	ОПК-3 (ОПК-3.3, ОПК-3.5, ОПК-3.6)	Защита лабораторной работы	2

#### 4.4 Самостоятельное изучение разделов дисциплины

Таблица 5

##### Перечень вопросов для самостоятельного изучения дисциплины

№ п/п	Номера и наименование разделов, тем	Перечень рассматриваемых вопросов для самостоятельного изучения
<b>Раздел 1 «Трансформаторы»</b>		
1.	<b>Тема 3.</b> Процессы в трансформаторе при нагрузке	Условия включения трансформаторов на параллельную работу и их анализ (ОПК-3 (ОПК-3.3, ОПК-3.5, ОПК-3.6)).
2.	<b>Тема 5.</b> Трехобмоточные трансформаторы, автотрансформаторы, сварочные трансформаторы	Распределительные и блочные трехобмоточные трансформаторы. Конструктивные особенности автотрансформаторов, схемы включения обмоток, основные соотношения. Область применения автотрансформаторов, их преимущества и недостатки. Сварочные трансформаторы, внешняя характеристика (ОПК-3 (ОПК-3.3, ОПК-3.5, ОПК-3.6)).
<b>Раздел 2 «Асинхронные машины»</b>		
3.	<b>Тема 2.</b> Конструктивные особенности, основные соотношения и режимы работы асинхронных машин, схема замещения	Режимы работы асинхронной машины: генераторный и электромагнитного тормоза (основные формулы, принцип действия, зависимость электромагнитного момента от скольжения/частоты вращения ротора) (ОПК-3 (ОПК-3.3, ОПК-3.5, ОПК-3.6)).
4.	<b>Тема 4.</b> Пуск и регулирование частоты вращения асинхронных двигателей	Пуск двигателей с обмоткой ротора специального исполнения (пуск двигателя с глубокими пазами на роторе; пуск двигателя с двойной беличьей клеткой на роторе). (ОПК-3 (ОПК-3.3, ОПК-3.5, ОПК-3.6)).
<b>Раздел 3 «Синхронные машины»</b>		
5.	<b>Тема 2.</b> Магнитное поле, параметры и характеристики синхронной машины	Характеристики генератора при автономной работе: холостого хода, короткого замыкания, нагрузочная, индукционная, внешняя, регулировочная (ОПК-3 (ОПК-3.3, ОПК-3.5, ОПК-3.6)).
6.	<b>Тема 4.</b> Параллельная работа синхронных машин	Регулирование активной и реактивной мощности. Параллельная работа генераторов соизмеримой мощности (ОПК-3.3, ОПК-3.5, ОПК-3.6).
7.	<b>Тема 5.</b> Специальные синхронные машины	Индукторный синхронный генератор, генераторы для ветроустановок и для малых ГЭС, синхронные микродвигатели (устройство, принцип действия, области применения) (ОПК-3 (ОПК-3.3, ОПК-3.5, ОПК-3.6)).
<b>Раздел 4 «Машины постоянного тока»</b>		
8.	<b>Тема 1.</b> Особенности устройства, принцип действия и области применения машин постоянного тока	Коммутация в машинах постоянного тока (основные формулы; нормальная, замедленная и ускоренная коммутация, основные причины искрения под щетками) (ОПК-3 (ОПК-3.3, ОПК-3.5, ОПК-3.6)).
9.	<b>Тема 2.</b> Характеристики генераторов постоянного тока	Параллельная работа генераторов (способы синхронизации генератора с сетью большой мощностью: ламповый синхроноскоп; самосинхронизация; электромагнитный синхроноскоп, автоматические приборы точной синхронизации) (ОПК-3 (ОПК-3.3, ОПК-3.5, ОПК-3.6)).
10.	<b>Тема 5.</b> Специальные машины постоянного	Универсальный коллекторный двигатель, исполнительный двигатель, тахогенератор (устройство, принцип действия,

№ п/п	Номера и наименование разделов, тем	Перечень рассматриваемых вопросов для самостоятельного изучения
	тока	области применения) (ОПК-3 (ОПК-3.3, ОПК-3.5, ОПК-3.6)).

## 5. Образовательные технологии

В процессе преподавания дисциплины «Электрические машины» в совокупности с традиционной (объяснительно-иллюстративной) технологией обучения используются элементы инновационных технологий.

Для организации процесса освоения студентами дисциплины используются следующие формы теоретического и практического обучения, соответствующие традиционной (объяснительно-иллюстративной) и активные и интерактивные технологии (проблемное обучение, информационно-коммутационная технология, контекстное обучение).

Основные формы теоретического обучения: лекции, мультимедиа-лекция, лекция-визуализация, консультация, экзамен.

Основные формы практического обучения: практические занятия и лабораторные работы.

Дополнительные формы организации обучения: курсовая работа и самостоятельная работа студентов.

Соотнесенность тем в структуре содержания дисциплины, применяемых для их изучения технологий и соответствующих им форм и методов (и средств) обучения представлены ниже (в таблице 6).

Таблица 6

### Применение активных и интерактивных образовательных технологий

№ п/п	Тема		Наименование используемых активных и интерактивных образовательных технологий
1.	Роль электромеханики в жизни современного общества. Устройство современных электрических машин и трансформаторов	Л	Информационно-коммуникационная технология (мультимедиа-лекция)
2.	Общие вопросы теории электрических машин переменного тока.	Л	Информационно-коммуникационная технология (мультимедиа-лекция).
3.	Конструктивные особенности, основные соотношения и режимы работы асинхронных машин, схема замещения.	Л	Информационно-коммуникационная технология (мультимедиа-лекция)
4.	Механическая характеристика асинхронного двигателя	Л	Технология проблемного обучения (лекция-визуализация)
5.	Специальные машины	Л	Информационно-коммуникационная технология (мультимедиа-лекция)

№ п/п	Тема	Наименование используемых активных и интерактивных образовательных технологий	
	постоянного тока (шаговый двигатель)		тимедиа-лекция)
6.	Области применения, устройство и режимы работы синхронных машин.	Л	Информационно-коммуникационная технология (мультимедиа-лекция)
7.	Особенности устройства, принцип действия и области применения машин постоянного тока.	Л	Информационно-коммуникационная технология (мультимедиа-лекция)
8.	Исследование трехфазного двухобмоточного трансформатора.	ЛБ	Технология проблемного обучения
9.	Трехфазный асинхронный двигатель с обмоткой ротора типа «беличья клетка».	ЛБ	Технология проблемного обучения
10.	Определение параметров Т-образной схемы замещения трансформатора по его паспортным данным.	ПЗ	Технология контекстного обучения.
11.	Определение параметров схемы замещения асинхронного двигателя по данным опытов холостого хода и короткого замыкания.	ПЗ	Технология контекстного обучения.
12.	Расчет пусковых сопротивлений для двигателей постоянного тока с различными схемами возбуждения.	ПЗ	Технология контекстного обучения.

## 6. Текущий контроль успеваемости и промежуточная аттестация по итогам освоения дисциплины

При изучении разделов дисциплины «Электрические машины» в течение семестра используются следующие виды контроля:

- текущий,
- промежуточный.

**Текущий контроль** знаний предполагает посещение лекций, устные ответы студентов на вопросы на практических занятиях, выполнение и защита лабораторных работ, выполнение тестов, решение типовых задач, проведение дискуссий.

**Промежуточный контроль знаний:** защита курсовой работы, экзамен.

## **6.1. Типовые контрольные задания или иные материалы, необходимые для оценки знаний, умений и навыков и (или) опыта деятельности**

1) При изучении дисциплины «Электрические машины» учебным планом предусмотрено выполнение курсовой работы.

Задачей курсовой работы является закрепление теоретических знаний по курсу, развитие навыков самостоятельной работы.

Для выполнения курсовой работы студенту следует изучить теоретический материал по литературе и с целью оценки степени усвоения ответить на контрольные вопросы.

Курсовая работа выполняется студентом во внеурочное время с использованием любых информационных и программных материалов, носит расчетный характер и оформляется в текстовом редакторе Microsoft Word и Microsoft Excel для составления таблиц, диаграмм и вычисления простых и сложных функций. В графической части выполняется чертеж асинхронного двигателя с к.з. ротором (на листе формата А1 в среде AutoCad). На чертеже наносятся габаритные размеры асинхронного двигателя с к.з. ротором.

В конце курсовой работы необходимо дать перечень использованной литературы.

Курсовая работа по дисциплине выполняется согласно номеру варианта индивидуального задания выданного преподавателем.

Примерная тема курсовой работы:

«Расчет асинхронного двигателя с короткозамкнутым ротором»

Критерии оценивания курсовой работы представлены в таблице № 7.

Таблица 7

### **Критерии оценки курсовой работы**

<b>Оценка</b>	<b>Критерии оценивания</b>
<b>«отлично»</b>	<b>курсовая работа</b> выполнена в соответствии с утвержденным планом; расчеты, таблицы, графики и схемы выполнены точно и верно. Студентом сформулированы собственные аргументированные выводы по теме курсовой работы. Студент владеет специальной терминологией; стилистические и грамматические ошибки отсутствуют. Оформление курсовой работы соответствует предъявляемым требованиям. При написании и защите курсовой работы студентом продемонстрирован высокий уровень развития профессиональных компетенций, теоретических знаний и наличие практических навыков. Чертежи выполнены в соответствии с ГОСТами. При защите курсовой работы студент отвечает на вопросы.
<b>«хорошо»</b>	<b>курсовая работа</b> выполнена в соответствии с утвержденным планом; расчеты, таблицы, графики и схемы выполнены с неточностями. Имеются замечания к оформлению курсовой работы. Студент владеет специальной терминологией. При написании и защите курсовой работы студентом продемонстрирован средний уровень развития профессиональных компетенций, наличие теоретических знаний и достаточных практических навыков. Чертежи выполнены в соответствии с ГОСТами. При за-

	щите курсовой работы студент владеет материалом, но отвечает не на все поставленные вопросы.
«удовлетворительно»	<b>курсовая работа</b> выполнена в соответствии с утвержденным планом; расчеты, таблицы, графики и схемы выполнены с ошибками. Студентом не сделаны собственные выводы по теме курсовой работы. Грубые недостатки в оформлении курсовой работы; слабое владение специальной терминологией; стилистические и грамматические ошибки. При защите курсовой работы, испытывал затруднения при ответах на вопросы.
«неудовлетворительно»	<b>курсовая работа</b> выполнена не в соответствии с утвержденным планом, не раскрыто содержание каждого вопроса; допустил грубые ошибки в расчетах, таблицах, графиках и схемах. Студентом не сделаны выводы по теме курсовой работы. Грубые недостатки в оформлении курсовой работы. На защите курсовой работы студент показал поверхностные знания по теме, не правильно отвечал на вопросы.

2) Пример тестового задания для текущего контроля знаний обучающихся:

**Теме 2.** Устройство силовых трансформаторов, области применения

**Теме 3.** Процессы в трансформаторе в режимах холостого хода и короткого замыкания

Практическое занятие № 1. Определение параметров Т-образной схемы замещения трансформатора по его паспортным данным.

### Тест

- Трансформатор тока — это электрический аппарат, преобразующий (выберите правильный ответ):
  - механическую энергию в электрическую энергию;
  - механическую энергию одного вида в механическую энергию другого вида;
  - электрическую энергию одного вида в электрическую энергию другого вида;
  - электрическую энергию в механическую энергию.
- Для чего предназначен трансформатор?
  - для повышения КПД;
  - для повышения коэффициента мощности;
  - для передачи электрической энергии от источника переменного тока к потребителю;
  - для снижения магнитных потерь.
- Укажите параметры, определяющие коэффициент трансформации трансформатора.
  - число витков первичной обмотки;
  - число витков вторичной обмотки;
  - магнитный поток;
  - числа витков первичной и вторичной обмоток.
- Как изменится ток во вторичной обмотке трансформатора, если коэффициент трансформации увеличить в 4 раза?

- а) увеличится в 2 раза;
  - б) уменьшится в 4 раза;
  - в) увеличится в 4 раза;
  - г) не изменится.
5. Для определения, каких потерь в трансформаторе выполняют опыт холостого хода?
- а) электрических потерь в первичной обмотке;
  - б) электрических потерь во вторичной обмотке;
  - в) магнитных потерь;
  - г) механических потерь.
6. Для определения, каких потерь в трансформаторе выполняют опыт короткого замыкания?
- а) электрических потерь;
  - б) на гистерезис;
  - в) на вихревые токи;
  - г) механических.
7. При каком соотношении чисел витков обмоток трансформатор является повышающим?
- а)  $w_1 \gg w_2$ ;
  - б)  $w_1 > w_2$ ;
  - в)  $w_1 = w_2$ ;
  - г)  $w_1 < w_2$ .
8. В качестве какого устройства применяют автотрансформатор?
- а) повышающего трансформатора;
  - б) развязывающего устройства;
  - в) регулятора постоянного напряжения;
  - г) регулятора переменного напряжения.
9. Для чего предназначены измерительные трансформаторы?
- а) для повышения напряжения и тока до значений, которые можно измерить стандартными электроизмерительными приборами;
  - б) для уменьшения напряжения и увеличения тока в тех же целях;
  - в) для повышения напряжения и уменьшения тока в тех же целях;
  - г) для понижения напряжения и тока в тех же целях.
10. В каком режиме работает трансформатор тока?
- а) холостого хода;
  - б) короткого замыкания;
  - в) согласованном;
  - г) оптимальном.
11. В каком режиме работает трансформатор напряжения?
- а) холостого хода;
  - б) короткого замыкания;
  - в) согласованном;
  - г) оптимальном.

3) Пример дискуссии для текущего контроля знаний обучающихся:  
По разделу 1 «Трансформаторы»

Теме 1. Устройство силовых трансформаторов, области применения  
Практическое занятие № 1. Определение параметров Т-образной схемы замещения трансформатора по его паспортным данным.

Тема дискуссии «Вклад отечественных и зарубежных ученых в развитие электротехники и электромеханики».

#### Вопросы к дискуссии

1. Почему современная система электроснабжения использует трехфазную систему переменного тока?
2. Кто изобрел трехфазный трансформатор?
3. Кто описал математически главные законы электромагнитной индукции?
4. В честь какого ученого названа единица измерения индукции магнитного поля?
5. В честь какого ученого названа единица измерения величины магнитного потока?
6. Закон электромагнитной индукции, открытый М. Фарадеем в 1831 г. – основа работы электрических машин и трансформаторов.
7. В каком году и кто изобрел индукционную катушку?  
(В 1836 году ирландский физик Николас Калан).
8. В каком году, в каком городе и где устанавливаются трансформаторы с разомкнутым сердечником? (В 1883 году на подстанциях Лондонского метрополитена).
9. В каком году, в какой стране и кем были созданы первые трансформаторы с замкнутым сердечником? (В 1884 году в Англии братьями Джоном и Эдуардом Гопкинсон).
10. В какой стране и кем был получен патент на параллельное включение первичных и вторичных обмоток трансформаторов? (Венгерский электромеханик Макс Дери).
11. Первый электродвигатель для работы от гальванических элементов, построенный в 1834 году членом Петербургской Академии наук Б.С. Якоби.
12. Первая установка однофазного тока для электроснабжения «свечей Яблочкова», осуществленная в 1878 г. П.Н. Яблочковым.
13. Конструкции однофазных трансформаторов с замкнутым сердечником из изолированной стальной проволоки, разработанные в 1885 году инженерами М. Дери, О.Т. Блати и К. Циперновским (фирма Ганц в Будапеште).
14. Разработка в 80-х годах XIX в. Николой Тесла двухфазных синхронного генератора и двухфазного асинхронного двигателя.
15. Разработка М.О. Доливо-Добровольским системы трёхфазного тока – эпоха в развитии всех областей электроэнергетики и, в частности, электромашиностроения.
16. Изобретение М.О. Доливо-Добровольским в 1889 г. трёхфазного асинхронного двигателя и трёхфазного трансформатора (Германия, фирма АЕГ).
17. Международная электротехническая выставка в г. Франкфурт-на-Майне – осуществление и демонстрация первой установки трёхфазного тока, состоявшей из генератора мощностью 200 кВт на электростанции в г. Лауффене (на расстоянии 170 км от выставки), трёхфазной линии электропередачи напряжением 15 кВ и двух понижающих трансформаторов на территории выстав-

ки, один из которых подводил электроэнергию к трёхфазному асинхронному двигателю мощностью 75 кВт.

18. Изобретение в 1901 г. электротехнической стали, содержащей кремний, – важное значение для электромашиностроения.

19. «Метод двух реакций» разработанный в 1985 г. французским электротехником А. Блонделем, для анализа явнополюсной синхронной машины.

20. Векторная диаграмма, предложенная в 1900 г. французским электротехником А. Потье, для анализа явнополюсной синхронной машины.

21. Гидрогенераторы и турбогенераторы, изготовленные на заводе «Электросила» (Санкт-Петербург) в 30-е годы XX в. – результат большой творческой работы российских конструкторов и научных работников.

4) Пример типовых задач для текущего контроля знаний обучающихся:

По разделу 1 «Трансформаторы»

Теме 3. Процессы в трансформаторе в режимах холостого хода и короткого замыкания

Практическое занятие № 1. Определение параметров T-образной схемы замещения трансформатора по его паспортным данным

**Задача 1.** Как изменится реактивная составляющая тока холостого хода трансформатора, если частота питающей сети понизится с 50 до 49 Гц? Амплитудное значение магнитной индукции в сердечнике трансформатора, выполненного из электротехнической стали 3413,  $B_m = 1,65$  Тл.

**Задача 2.** Ток холостого хода  $I_x$  трехфазного трансформатора мощностью 25 кВА и фазным напряжением  $U_{1н} = 5770$  В равен 0,046 А. При том же номинальном напряжении у трансформатора мощностью 630 кВА ток холостого хода увеличивается в 16 раз. В каком соотношении находятся токи холостого хода указанных трансформаторов, выраженные в относительных единицах?

5) Пример перечня вопросов для устного опроса студентов для текущего контроля знаний обучающихся:

По разделу 1 «Трансформаторы»

Теме 3. Процессы в трансформаторе в режимах холостого хода и короткого замыкания

Практическое занятие № 1. Определение параметров T-образной схемы замещения трансформатора по его паспортным данным.

Перечень вопросов для устного опроса.

1. Какова роль трансформатора в процессе передачи и распределения электроэнергии?
2. Сформулируйте зависимость роста мощности трансформатора от его геометрических размеров.
3. Перечислите основные элементы активных частей трансформатора.
4. На каком физическом явлении основан принцип действия трансформатора?
5. Укажите взаимосвязь между электрическими и магнитными величинами в трансформаторе.
6. Назовите причину возникновения потоков рассеяния в трансформаторе?

7. Каков коэффициент трансформации приведенного трансформатора?
8. Уравнения равновесия ЭДС (напряжений) и МДС приведенного трансформатора.
9. Начертите T – образную схему замещения приведенного трансформатора.
10. Из какого опыта определяется сопротивление  $R_1$ ,  $R_2$  в схеме замещения трансформатора?
11. Как влияет температура трансформатора на величину сопротивлений схемы замещения трансформатора?
12. Как влияет величина первичного напряжения на потери в стали магнитопровода трансформатора?

б) Пример контрольных вопросов при защите лабораторной работы для текущего контроля знаний обучающихся:

По разделу 1 «Трансформаторы»

Теме 2. Процессы в трансформаторе в режимах холостого хода и короткого замыкания.

Лабораторная работа № 1. Трехфазный двухобмоточный трансформатор.

Контрольные вопросы при защите лабораторной работы.

1. Объясните назначение, устройство и принцип действия трансформатора.
2. Что такое коэффициент трансформации?
3. Почему токи холостого хода (х.х) в обмотке трехстержневого трансформатора не одинаковы по фазам?
4. Чем обусловлена необходимость проведения опытов холостого хода (х.х) и короткого замыкания (к.з) при испытаниях силовых трансформаторов?
5. В чем смысл определения параметров и построения схемы замещения трансформатора?
6. Дать понятие напряжения короткого замыкания (к.з) трансформатора и пояснить его важность для целей практики.
7. Почему мощность, потребляемую из сети в режиме холостого хода (х.х), принимают за магнитные потери, а в режиме короткого замыкания (к.з) - за электрические потери?
8. Какие потери для трансформатора считаются постоянными, а какие – переменными?
9. Что называется изменением вторичного напряжения трансформатора, отчего оно зависит и в каких единицах выражается?
10. Чем объяснить, что у трехфазного трехстержневого трансформатора магнитная система несимметрична? Отражается ли это обстоятельство на рабочем режиме трансформатора?
11. Дать понятие о коэффициенте полезного действия (КПД) и коэффициенте мощности трансформатора ( $\cos \varphi$ ). Сопоставить эти коэффициенты.
12. Какая обмотка трансформатора называется первичной?

7) Перечень вопросов, выносимых на промежуточную аттестацию (экзамен):

1. Материалы, применяемые в электромашиностроении. Роль трансформатора в процессе передачи и распределения электроэнергии.

2. Закон роста мощности и геометрических размеров трансформатора, основные положения.
3. Устройство трансформатора: магнитопровод, обмотки, бак масляного трансформатора, арматура бака.
4. Принцип действия трансформатора. Взаимосвязь между электрическими и магнитными величинами в трансформаторе. Роль потоков рассеяния в трансформаторе.
5. Уравнение равновесия ЭДС (напряжений) и МДС трансформатора.
6. Приведенный трансформатор. Уравнения равновесия ЭДС (напряжений) и МДС приведенного трансформатора.
7. Т – образная схема замещения приведенного трансформатора.
8. Векторная диаграмма приведенного трансформатора при R – L-нагрузке и R–C-нагрузке.
9. Режим холостого хода трансформатора.
10. Опыт холостого хода трансформатора.
11. Режим короткого замыкания трансформатора.
12. Опыт короткого замыкания трансформатора.
13. Эксплуатационные показатели трансформаторов: изменение напряжения на зажимах вторичной обмотки (внешняя характеристика); коэффициент полезного действия.
14. Характеристика схем соединения обмоток (звезда, треугольник, зигзаг) трансформатора, условные обозначения схем. Обозначение начал и концов обмоток.
15. Группы соединения обмоток трансформаторов. Маркировка зажимов обмоток согласно заданным схемам и группе соединения.
16. Параллельная работа трансформаторов. Условия включения трансформатора на параллельную работу и анализ условия тождественности групп соединений обмоток.
17. Параллельная работа трансформаторов, анализ условия равенства напряжений (равенство коэффициентов трансформации).
18. Параллельная работа трансформаторов, анализ условия равенства напряжений короткого замыкания.
19. Явления, возникающие при намагничивании магнитопровода однофазного трансформатора.
20. Явления, возникающие при намагничивании магнитопровода трехфазного трансформатора (анализируются явления при стержневом и групповом магнитопроводе и схемах соединения обмоток У/У: звезд-звезда, Д/У: треугольник-звезда, У/Д: звезда-треугольник).
21. Несимметричный режим работы трехфазных трансформаторов: токи и магнитные потоки нулевой последовательности; схемы замещения трансформатора ( $U/z_n$ : звезда-зигзак с нулем,  $U/u_n$ : звезда-звезда с нулем,  $Д/u_n$ : треугольник-звезда с нулем) для токов нулевой последовательности.
22. Несимметричный режим работы трехфазного трансформаторов: экспериментальное определение сопротивлений нулевой последовательности, несимметричная нагрузка при наличии токов нулевой последовательности ( $U/z_n$ :

- звезда-зигзак с нулем,  $Y/y_n$ : звезда-звезда с нулем,  $D/y_n$ : треугольник-звезда с нулем).
23. Регулирование напряжения с помощью трансформатора: трансформаторы с переключением без возбуждения (ПБВ).
  24. Регулирование напряжения с помощью трансформатора: трансформаторы с регулированием под нагрузкой (РПН).
  25. Автотрансформаторы: сопоставление автотрансформатора и трансформатора.
  26. Сварочный трансформатор для дуговой электросварки. Условное обозначение типа трансформатора.
  27. Устройство асинхронной машины: активная часть, конструктивные элементы.
  28. Условия создания кругового вращающего поля. Формула для синхронной скорости.
  29. Особенности работы асинхронной машины в режимах: двигателя, генератора, электромагнитного тормоза.
  30. Магнитодвижущая сила трехфазных пространственно распределительных обмоток переменного тока: МДС катушки, МДС катушечной группы, МДС фазы, МДС трехфазной обмотки.
  31. Асинхронная машина при неподвижном роторе: режим трансформатора, трехфазный индукционный регулятор, фазорегулятор, регулируемое индукционное сопротивление.
  32. Формулы для ЭДС, частоты ЭДС, тока и сопротивления обмотки вращающегося ротора. Эквивалентное замещение вращающегося ротора неподвижным ротором.
  33. Т – образная и Г – образная схемы замещения асинхронного двигателя.
  34. Векторная диаграмма и энергетическая диаграмма асинхронного двигателя.
  35. Электромагнитный момент асинхронного двигателя при холостом ходе и нагрузке. Зависимость электромагнитного момента от скольжения.
  36. Зависимость электромагнитного момента от активного сопротивления цепи обмотки ротора.
  37. Устойчивость работы асинхронного двигателя. Уравнение равновесия моментов при постоянной и переменной скорости вращения ротора.
  38. Опыты холостого хода и короткого замыкания асинхронного двигателя. Сопоставление результатов этих опытов с данными опытов х.х. и к.з. трансформатора.
  39. Опытное определение рабочих характеристик асинхронного двигателя.
  40. Построение круговой диаграммы асинхронной машины по данным опытов х.х. и к.з. Определение рабочих характеристик асинхронного двигателя по круговой диаграмме.
  41. Пуск в ход асинхронного двигателя с фазным ротором.
  42. Пуск в ход асинхронного двигателя с короткозамкнутым ротором: прямой пуск, пуск при пониженном напряжении, подводимом к обмотке статора (понижение напряжения посредством реактора, автотрансформатора, переключение обмотки статора с треугольника на звезду на период пуска).

43. Пуск в ход асинхронного двигателя с обмоткой ротора специального исполнения: обмотка типа – «беличья клетка» расположена в глубоких пазах; двойная – «беличья клетка».
44. Регулирование скорости вращения асинхронного двигателя: а) изменения частоты подводимого напряжения, б) переключение числа пар полюсов обмотки статора; в) изменением скольжения (посредством ввода активного сопротивления в цепь обмотки ротора, посредством изменения напряжения).
45. Однофазный асинхронный двигатель.
46. Принцип действия синхронного генератора (СГ).
47. Реакция якоря синхронного генератора.
48. Уравнение равновесия напряжений и векторная диаграмма напряжений (ЭДС) неявнополюсного синхронного генератора (СГ).
49. Уравнение равновесия напряжений и векторная диаграмма напряжения (ЭДС) явнополюсного синхронного генератора (СГ).
50. Физическая природа синхронных индуктивных сопротивлений обмотки якоря по оси  $d$  ( $X_d$ ) и по оси  $q$  ( $X_q$ ).
51. Характеристики синхронного генератора при работе на автономную нагрузку.
52. Определение параметров в. д. напряжение (ЭДС): индуктивные сопротивления обмотки якоря  $X_d$  и  $X_q$ .
53. Условие включения синхронного генератора на параллельную работу с сетью бесконечно большой мощности (Б.Б.М.).
54. Синхронизация и включение синхронного генератора на параллельную работу с сетью бесконечно большой мощности (Б.Б.М.).
55. Особенности параллельной работы синхронного генератора с сетью бесконечно большой мощности.
56. Режим работы явнополюсного синхронного генератора (СГ) параллельно с сетью Б.Б.М., соответствующей угловой характеристике активной мощности. Физическая природа пространственного угла  $Q_{пр}$  и временного угла  $Q_{вр}$ .
57. Статическая устойчивость синхронного генератора.
58. Режим работы явнополюсного синхронного генератора (СГ) параллельно с сетью Б.Б.М., соответствующий  $V$ -образной характеристике.
59. Принцип действия синхронного двигателя. Преимущества и недостатки синхронного двигателя (СД) по сравнению с асинхронным двигателем (АД).
60. Уравнение равновесия напряжений и векторная диаграмма напряжений (ЭДС) синхронного двигателя.
61. Режим работы синхронного двигателя параллельно с сетью бесконечно большой мощности, соответствующий  $V$ -образной характеристике.
62. Рабочие характеристики синхронного двигателя.
63. Способы пуска в ход синхронного двигателя.
64. Одноосный момент при синхронном способе пуска синхронного двигателя/явление Гёргеса (Görges).
65. Синхронный компенсатор: устройство, назначение и принцип действия.
66. Устройство в области применения машин постоянного тока.
67. Принцип действия простейшего генератора постоянного тока.
68. Коммутация в машинах постоянного тока: основные понятия.

69. Реакция якоря в генераторе постоянного тока (ГПТ).
70. Классификация генераторов постоянного тока по способу возбуждения.
71. Принцип действия генератора постоянного тока (ГПТ). Формула для ЭДС обмотки якоря. Уравнение равновесия напряжений.
72. Энергетическая диаграмма генератора постоянного тока (ГПТ). Формула для электромагнитного момента. Уравнение равновесия моментов.
73. Характеристики генератора постоянного тока независимого возбуждения.
74. Условия самовозбуждения генератора постоянного тока параллельно возбуждения.
75. Характеристики генератора постоянного тока параллельного возбуждения.
76. Характеристики генератора постоянного тока последовательного возбуждения.
77. Характеристики генератора постоянного тока смешанного возбуждения.
78. Классификация двигателей постоянного тока по способу возбуждения.
79. Реакция якоря в двигателе постоянного тока (ДПТ).
80. Принцип действия двигателя постоянного тока (ДПТ). Формула для ЭДС обмотки якоря, противо-ЭДС. Уравнение равновесия напряжений.
81. Энергетическая диаграмма двигателя постоянного тока (ДПТ). Формула для электромагнитного момента. Уравнение равновесия моментов.
82. Прямой и реостатный способы пуска двигателей постоянного тока.
83. Рабочие характеристики двигателя постоянного тока параллельного возбуждения.
84. Рабочие характеристики двигателя постоянного тока последовательного и смешанного возбуждения.
85. Назначение и устройство исполнительного двигателя постоянного тока. Механическая и регулировочная характеристики при якорном управлении.
86. Тахогенератор постоянного тока: устройство, назначение, выходная характеристика.
87. Асинхронный тахогенератор: устройство, назначение, выходная характеристика.
88. Синхронный тахогенератор: устройство, назначение, выходная характеристика.
89. Синхронный реактивный двигатель: устройство, принцип действия, области применения.
90. Однофазный сельсин: устройство, назначение, особенности работы в индикаторном режиме.
91. Однофазный сельсин: устройство, назначение, особенности работы в трансформаторном режиме.

## **6.2. Описание показателей и критериев контроля успеваемости, описание шкал оценивания**

Для оценки знаний, умений, навыков и формирования компетенции по дисциплине «Электрические машины» применяется **традиционная** система контроля и оценки успеваемости студентов.

Критерии оценки знаний устанавливаются в соответствии с требованиями к

профессиональной подготовке, исходя из действующих учебных планов и программ с учетом характера конкретной дисциплины, а также будущей практической деятельности выпускника. Критерии выставления оценок по четырехбалльной системе: «отлично», «хорошо», «удовлетворительно», «неудовлетворительно» представлены в таблице 8.

Таблица 8

### Критерии оценивания результатов обучения

Оценка	Критерии оценки
<b>Высокий уровень «5» (отлично)</b>	оценку «отлично» заслуживает студент, глубоко и прочно освоивший знания, умения, компетенции и теоретический материал, излагающий его исчерпывающе, последовательно, системно и логически стройно; не затрудняется с ответом при видоизменении задания; справляется с нестандартными задачами, вопросами и другими видами применения знаний; при изложении материала владеет терминологией и символикой изучаемой дисциплины; показывает разносторонние знания основной и дополнительной литературы; практические навыки профессионального применения освоенных знаний сформированы.
<b>Средний уровень «4» (хорошо)</b>	оценку «хорошо» заслуживает студент, практически полностью освоивший знания, умения, компетенции и логически правильно излагающий теоретический материал, не допускающий существенных неточностей в ответе на вопрос; владеющий терминологией и символикой изучаемой дисциплины при изложении материала; усвоивший основную литературу, рекомендованную программой дисциплины; в основном сформировал практические навыки.
<b>Пороговый уровень «3» (удовлетворительно)</b>	оценку «удовлетворительно» заслуживает студент, частично с пробелами освоивший знания, умения, компетенции и теоретический материал только по обязательному минимуму содержания предмета, определенному программой дисциплины; знания основной литературы, рекомендованной программой, отрывочны и не системны. Студент допускает неточности в ответе, недостаточно правильные формулировки, нарушения последовательности в изложении материала, четкость и убедительность ответа выражена слабо, испытывает затруднения в выполнении типовых практических заданий, некоторые практические навыки не сформированы.
<b>Минимальный уровень «2» (неудовлетворительно)</b>	оценку «неудовлетворительно» заслуживает студент, не освоивший знания, умения, компетенции и теоретический материал; не показал правильного понимания существа экзаменационных вопросов; не знает значительной части основного материала; допускает принципиальные ошибки при выполнении типовых практических заданий; основная литература по проблемам курса не усвоена, практические навыки не сформированы.

## 7. Учебно-методическое и информационное обеспечение дисциплины

### 7.1 Основная литература

1. Забудский, Е.И. Электрические машины [Текст]: учебное пособие для вузов. Ч.3. Синхронные машины / Е.И. Забудский. – М.: УМЦ «Триода», 2008. – 196 с.

2. Забудский, Е.И. Электрические машины [Текст]: учебное пособие для вузов. Ч.4. Машины постоянного тока /Е.И. Забудский. – М.: ФГБОУ ВПО МГАУ, 2014. – 160 с.

3. Забудский, Е.И. Электрические машины. Асинхронные машины [Текст]: учебное пособие для вузов / Е.И. Забудский. – М.: ООО «Мегаполис», 2017. – Ч.2. – 304 с.

## 7.2 Дополнительная литература

1. Забудский, Е.И. Электрические машины [Текст]: учебное пособие для вузов. Ч.1. Трансформаторы / Е.И. Забудский. – М.: МГАУ имени В.П. Горячкина, 2002. – 167 с.

2. Забудский, Е.И. Электрические машины [Текст]: учебное пособие для вузов. ч.3. Синхронные машины / Е.И. Забудский. – 2-е изд., перераб. и доп., в четырех частях. – Москва: Мегаполис, 2019. – 295 с.

3. Вольдек, А.И. Электрические машины. Введение в электромеханику. Машины постоянного тока и трансформаторы [Текст]: учебник для вузов / А.И. Вольдек, В.В. Попов.– СПб.: Питер, 2007. – 320 с.

4. Копылов, И.П. Проектирование электрических машин [Текст]: учебник для вузов/ И.П. Копылов [и др.]– 4-е изд. перераб. и доп. – М.: Юрайт, 2012. – 767 с. – (Бакалавр. Углубленный курс).

5. Копылов, И.П. Электрические машины. В 2. Т. 1 [Текст]: учебник для академического бакалавриата / И.П. Копылов. – 2-е изд., испр. и доп. – М.: Издательство Юрайт, 2015. – 267 с.

6. Копылов, И.П. Электрические машины. В 2. Т. 2 [Текст]: учебник для академического бакалавриата / И.П. Копылов. – 2-е изд., испр. и доп. – М.: Издательство Юрайт, 2015. – 407 с.

7. Корявых, В.С., Чистова, Я.С. Электрические машины малой мощности [Текст]: методические указания / В.С. Корявых, Я.С. Чистова. – М.: РГАУ-МСХА, 2017. – 40 с.

## Периодические издания

1. Журнал «Электричество», URL – адрес: <http://www.znack.com> (открытый доступ);
2. Журнал «Электротехника», URL – адрес: тот же (открытый доступ);
3. Журнал «Известия вузов. Электромеханика», URL – адрес: <http://www.npi-tu/index.php?id=130> (открытый доступ);
4. Журнал «Энергохозяйство за рубежом», URL – адрес: <http://www.prosmi.ru/catalog/3906> (открытый доступ).

## 7.3 Нормативные правовые акты

1. ГОСТ 27471–81. Машины электрические вращающиеся. Термины и определения.

2. ГОСТ 12139–94. Машины электрические вращающиеся. Ряды номинальных мощностей и частот.

3. ГОСТ 28173–89. Машины электрические вращающиеся. Номинальные данные и рабочие характеристики.
4. ГОСТ Р 51689–2000. Машины электрические вращающиеся. Двигатели асинхронные мощностью от 0,12 до 400 кВт включительно.
5. ГОСТ 26772–85. Машины электрические вращающиеся. Обозначения выводов и направления вращения.
6. ГОСТ 2.710–81 ЕСКД. Обозначения буквенно-цифровые в электрических схемах.
7. ГОСТ Р МЭК 60204.1–99. Безопасность машин. Электрооборудование машин и механизмов. Ч. 1. Общие требования.
8. Правила устройства электроустановок. 7 издание, дополненное с исправлениями. – М.: Норматика, 2018.

#### **7.4 Методические указания, рекомендации и другие материалы к занятиям**

Формами организации учебного процесса по дисциплине «Электрические машины» являются лекции, лабораторные и практические занятия, консультации, самостоятельная работа студентов. Лекции проводятся на потоке, практические занятия в группах, лабораторные работы в подгруппах (методические указания по выполнению лабораторных работ размещены в Интернете на web-сайтах, профессора, д.т.н., Забудского Е.И.. URL – адреса: <http://zei/narod/ru>, <http://zabudsky/ru> (открытый доступ)).

На лекциях излагается теоретический материал, лабораторные и практические занятия проводятся для закрепления теоретических знаний. По курсу предусмотрено выполнение курсовой работы.

#### **8. Перечень ресурсов информационно-телекоммуникационной сети «Интернет», необходимых для освоения дисциплины (модуля)**

##### **Программно – информационное обеспечение дисциплины**

Программы: Microsoft Word, Microsoft Excel, Power Point, AutoCAD, Mathcad 15.1., TurboPascal. Интернет, электронные ресурсы технических библиотек.

1. Каталоги электрических машин и трансформаторов, изготавливаемых заводами России, etc. (интернет ресурс):
  - Свердловский завод трансформаторов тока (трансформаторы и другая электротехническая продукция) <http://www.cztt.ru/main.html> (открытый доступ);
  - Российские предприятия-производители трансформаторов и трансформаторных подстанций <https://productcenter.ru/> (открытый доступ);
2. Информационные центры России, обрабатывающие и распространяющие научно-техническую информацию <http://www.feip.ru/> (открытый доступ);
3. Всероссийский институт научной и технической информации РАН (ВИНИТИ РАН) <http://www.viniti.ru/> (открытый доступ);
4. Всероссийский научно-технический информационный центр (ВНТИЦ) <http://www.vntic.org.ru> (открытый доступ);

5. Защита интеллектуальной собственности (Роспатент) <https://rupto.ru/ru> (открытый доступ);
6. Российский научно-технический центр по стандартизации (Стандартин форм) <http://www.gostinfo.ru/> (открытый доступ).

### Компьютерные программы и электронные ресурсы в сети Интернет

На сайте (<http://zabudsky.ru> (открытый доступ)) представлены также следующие материалы профессора, д.т.н., Забудского Е.И.:

- 1) [Мультимедиа-иллюстрация условий создания вращающегося магнитного поля](#) трехфазной распределенной обмоткой. М.: МГАУ, 2005 – 365.13 КБ (среда разработки: Macromedia Flash; AutoCAD).  
Видео [Electric motor assembly](#) (ENGLISH);  
Видео [Сборка асинхронного двигателя](#) (RUSSIAN);  
Видео [Montaje motor electrico](#) (SPANISH).
- 2) Мультимедиа-иллюстрация. [Радиальная и электрическая схемы обмотки якоря машины постоянного тока](#). Укладка обмотки в пазы сердечника якоря. Выпрямление коллектором переменной э.д.с. обмотки якоря. М.: МГАУ, 2005 – 1.18 МБ (среда разработки: Macromedia Flash; AutoCAD).
- 3) Конструкция и технология сборки электрических машин. Звуковой видеофильм. В 5-ти частях. – М.: МГАУ, – 2004 (разработано в Power Point).
  - Ч.1. [Трансформаторы](#): 58 слайдов;
  - Ч.2. [Асинхронные машины](#): 74 слайда;
  - Ч.3. [Синхронные машины](#): 126 слайдов;
  - Ч.4. [Машины постоянного тока](#): 46 слайдов;
  - Ч.5. [Общие виды тепло- и гидроэлектростанций](#): 46 слайдов.
- 4) [Шаговый двигатель](#). Устройство, принцип действия, назначение. Мультимедиа-Учебное пособие. Вторая редакция. – М.: МГАУ, 2012. – 11 МБ (среда разработки: Macromedia Flash; AutoCAD).
- 5) Мультимедиа-лекция по теме «Реакция якоря синхронной машины». В четырех частях (среда разработки: Macromedia Flash, AutoCAD):
  - 1-я часть. [Основные положения теории реакции якоря](#).
  - 2-я часть. [Устройство активной части СМ и основы теории реакции якоря](#).
  - 3-я часть. [Построение векторных диаграмм, иллюстрирующих теорию реакции якоря](#).
  - 4-я часть.
- 6) Забудский Е. И. [Электрические машины \(Учебно-методический комплекс\)](#). – Москва: МГАУ. 2016.  
(УМК размещен в Интернете – <http://zabudsky.ru>) (открытый доступ).
- 7) Забудский Е.И. Паскаль–программа «[Расчет рабочих характеристик асинхронного двигателя](#)». – М.: МГАУ им. В.П. Горячкина, 2000.
- 8) Забудский Е.И. Компьютерный фильм «[Геометрическая интерпретация результатов расчета магнитного поля в устройствах электромеханики](#)»: Пакет компьютерных программ / Зарегистрирован в Отраслевом фонде алгоритмов и программ НИИВО Минобразования РФ. Регистр. № 94696, 16.02.94. [Сертификат № 3/93](#) от 10.09.93 г.

- 9) Забудский Е.И. Паскаль-программа «[Расчет характеристик холостого хода трансформатора](#)». – М.: МГАУ им. В.П. Горячкина, 2000.
- 10) Забудский Е.И. Паскаль-программа «[Расчет характеристик холостого хода асинхронного двигателя и разделение потерь](#)». – М.: МГАУ им. В.П. Горячкина, 2000.
- 11) Забудский Е.И. Паскаль-программа «[Расчет в системе относительных единиц экспериментальной функциональной зависимости вида  \$Y = f\(X\)\$](#) ». – М.: МГАУ им. В.П. Горячкина, 2000.
- 12) Забудский Е.И. Паскаль-программа «[Расчет рабочих характеристик двигателя постоянного тока параллельного возбуждения](#)». – М.: МГАУ им. В.П. Горячкина, 2001.

## 9. Перечень программного обеспечения и информационных справочных систем

Таблица 9

### Перечень программного обеспечения

№ п/п	Наименование раздела учебной дисциплины	Наименование программы	Тип программы	Автор	Год разработки
1.	Раздел 1 «Трансформаторы».	Microsoft Word	Оформительская Расчетная, составление таблиц и диаграмм Система автоматизированного проектирования (САПР) Презентация	Microsoft	2010
		Microsoft Excel		Microsoft	2010
		AutoCad		Autodesk	2009
		Power Point		Microsoft	2010
2.	Раздел 2 «Асинхронные машины».	Microsoft Word	Оформительская Расчетная, составление таблиц и диаграмм Система автоматизированного проектирования (САПР) Презентация	Microsoft	2010
		Microsoft Excel		Microsoft	2010
		AutoCad		Autodesk	2009
		Power Point		Microsoft	2010
3.	Раздел 3 «Синхронные машины».	Microsoft Word	Оформительская Расчетная, составление таблиц и диаграмм Система автоматизированного проектирования (САПР) Презентация	Microsoft	2010
		Microsoft Excel		Microsoft	2010
		AutoCad		Autodesk	2009
		Power Point		Microsoft	2010
4.	Раздел 4 «Машины постоянного тока».	Microsoft Word	Оформительская	Microsoft	2010
		Microsoft Excel	Расчетная, составление таблиц и диаграмм	Microsoft	2010

	AutoCad	Система автоматизированного проектирования (САПР) Презентация	Autodesk	2009
	Power Point		Microsoft	2010

**10. Описание материально-технической базы, необходимой для осуществления образовательного процесса по дисциплине**

Таблица 10

**Сведения об обеспеченности специализированными аудиториями, кабинетами, лабораториями**

Наименование специальных помещений и помещений для самостоятельной работы (№ учебного корпуса, № аудитории)	Оснащенность специальных помещений и помещений для самостоятельной работы
1	2
Корпус № 24, аудитория № 204	1. Проектор «Beng» W 1070 – 1 шт., инв. № 41013800002632. 2. Проекционный экран с электроприводом Digis Electra 240 x 240 NW (DSEM – 1106) – 1шт., инв. № 41013800002638.
Корпус № 24, аудитория № 206	Компьютерный класс тип 1: компьютеров – 6 шт., интерактивная доска – 1 шт., проектор Acer H 6517ST – 1 шт., инв. № 210124558132028
Корпус № 24, аудитория № 306	Компьютерный класс тип 2: компьютеров – 17 шт., проектор Acer H 6517ST – 1 шт., интерактивная доска – 1 шт., инв. № 410124000602951
Корпус № 24, аудитория № М-1.	Лаборатория «Трансформаторов», лабораторные стенды: 1. Исследование трехфазного двухобмоточного трансформатора – 1 шт. № 64536. 2. Исследование параллельной работы трехфазных трансформаторов – 2 шт. № 64537. 3. Исследование несимметричных нагрузок трехфазного трехстержневого двухобмоточного трансформатора – 1 шт. № 64538.
Корпус № 24, аудитория № М-3.	Лаборатория «Асинхронных машин», лабораторные стенды: 1. «Трехфазный асинхронный двигатель с фазным ротором» и «Испытание асинхронного двигателя с повышенным пусковым моментом» – 1 шт. (один стенд) инв. № 410136000005378; 2. Исследование трехфазного асинхронного двигателя в однофазном режиме и в режиме генератора – 1 шт. (один стенд) № 64544.
Корпус № 24, аудитория № М-2.	Лаборатория «Синхронных машин», лабораторные стенды: 1. «Трехфазная асинхронная машина с неподвижным ротором» и «Параллельная работа синхронного генератора сетью бесконечно большой мощности» – 1 шт. (один стенд) инв. № 410136000005379. 2. Испытание синхронного двигателя с явновыражен-

	ными полюсами, опытное определение параметров синхронного генератора» – 1 шт. № 64539. 3. Испытание трехфазного синхронного генератора, работающего на автономную сеть - 1 шт. № 64540.
Корпус № 24, аудитория № М-2.	Лаборатория «Машины постоянного тока», лабораторные стенды: 1. Исследование генератора постоянного тока при различных способах возбуждения – 1 шт. № 64541. 2. Исследование двигателя постоянного тока с параллельным и последовательным возбуждением – 1 шт. № 64542. 3. Испытание электромашинного усилителя (ЭМУ) и сельсина – 1 шт. № 64543.
Центральная научная библиотека имени Н.И. Железнова РГАУ–МСХА имени К.А. Тимирязева, включающая 9 читальных залов (в том числе 5 компьютеризированных), организованных по принципу открытого доступа и оснащенных Wi-Fi, Интернет – доступом.	
Общежития № 4, № 5 и № 11. Комнаты для самоподготовки.	

Четыре лаборатории для проведения лабораторных работ, практических занятий и выполнения НИР. Фотографии и их описание размещены на сайте, URL-адрес-<http://zabudsky.ru>: (открытый доступ).

## 11. Методические рекомендации студентам по освоению дисциплины

Учебный курс «Электрические машины» является основополагающим для студентов, обучающихся по направлению 13.03.02 Электроэнергетика и электротехника, направленность Электроснабжение. В этом курсе студент получает знания о современных научно-инженерных решениях, используемых при разработке электротехнологических процессов. Полученные знания необходимы студенту для успешной работы на производстве по выбранному направлению.

Методические рекомендации для успешного освоения студентом дисциплины «Электрические машины» сводятся к следующему:

1. Активно изучать теоретический материал, излагаемый на *лекциях*. Самостоятельно производить расчеты при обработке экспериментальных данных и осуществлять их графическую интерпретацию с использованием интерактивных программных сред.
2. К выполнению *лабораторной* работы необходимо заранее самостоятельно изучить теоретический материал указанный преподавателем литературы: учебники, лекции, методические указания, а также по методическим указаниям подготовить протокол для проведения экспериментальных исследований. Подготовить ответы на контрольные вопросы, предложенные препода-

вателем к защите данной лабораторной работе. На лабораторных занятиях необходимо обдуманно выполнять задания, произвести расчеты, начертить схемы и проанализировать полученные результаты. Защищать лабораторную работу по возможности следует в день ее выполнения или ближайшее время.

3. **На практических занятиях** обдуманно выполнять задания, самостоятельно производить расчеты, анализировать полученные результаты.
4. Максимально использовать возможности производственной технологической практики для изучения всего электрооборудования, имеющегося на предприятии, стремиться принять участие в ремонте электрических машин и трансформаторов.
5. Регулярно посещать тематические выставки, например, «Агропродмаш», «Золотая осень» и др.

**Самостоятельная работа студентов** предполагает проработку лекционного материала, подготовку к самостоятельным работам по рекомендуемой литературе, изучение дополнительной литературы, дополнительное конспектирование некоторых разделов курса, подготовку докладов и сообщений на секции студенческой научной конференции, выполнение домашнего задания (курсовая работа).

При самостоятельной работе следует рекомендовать студентам использовать электронные учебные пособия, компьютерное тестирование по разделам дисциплин.

**Курсовую работу** рекомендуется выполнять последовательно и систематически по мере изучения соответствующего раздела дисциплины. При возникновении трудностей следует обращаться к преподавателю.

### **Виды и формы отработки пропущенных занятий**

Студент, пропустивший лекционное занятие, обязан самостоятельно проработать пропущенную тему и ответить в устной форме на вопросы задаваемые преподавателем по теме лекции.

Студент, пропустивший практическое занятие, обязан самостоятельно проработать пропущенную тему, решить задачи и ответить в устной форме на вопросы задаваемые преподавателем по теме практического занятия.

Студент, пропустивший лабораторную работу, должен самостоятельно изучить теоретический материал по теме лабораторной работы, порядок ее проведения и отработать ее в соответствии с установленным кафедрой графиком отработок лабораторных работ.

## **12. Методические рекомендации преподавателям по организации обучения по дисциплине**

Формы организации учебного процесса по дисциплине «Электрические машины» являются лекции, лабораторные занятия, практические занятия, консультации, самостоятельная работа студентов.

На **лекциях** излагается теоретический материал: рассматривается роль дисциплины в учебном процессе, значение электроэнергетики для всех сфер

народного хозяйства, генерации и потребления электроэнергии; основы электромеханического преобразования энергии; генераторы и двигатели, их типы по роду тока и исполнению; назначение, устройство, характеристики и режимы работ: трансформаторов, асинхронных машин, синхронных машин, машин постоянного тока.

**Лабораторные занятия** проводятся в лаборатории электрических машин, оборудованной всеми необходимыми испытательными стендами, источниками электрической энергии, приборами и регулировочной аппаратурой.

На **практических занятиях** студенты знакомятся с данными каталогов; решают конкретные задачи с применением основных законов электротехники: расчет характеристик и параметров машин; овладевают методиками и программами расчета. Занятия целесообразно проводить в интерактивной форме. Например, при проведении практических занятий первый час каждого занятия – в форме показа преподавателем методики решения типовой задачи. Второй час каждого занятия проводится в интерактивной форме. Для этого предложить студентам решить индивидуальные задания (решить типовые задачи).

На **лекциях, лабораторных и практических занятиях** следует обратить особое внимание на устройство электрических машин и трансформаторов.

1. Желательно содержание разделов с описанием устройства электрических машин и трансформаторов сопроводить демонстрацией реальных физических моделей.
2. Занятия рекомендуется проводить в учебных лабораториях «Электрические машины» с активным использованием компьютера, мультимедийного проектора и мультимедийных учебных пособий, с одновременным решением нескольких задач:
  - a) Знакомство с устройством электрических машин и трансформаторов по натуральным образцам и при демонстрации мультимедийных учебных материалов с использованием компьютера.
  - b) Изучение методик расчета электрических машин и трансформаторов на компьютере.
  - c) Выполнение обработки результатов экспериментальных исследований на компьютере и последующей графической интерпретацией результатов и интерактивных программных средах.

**Самостоятельная работа студентов** включает проработку лекционного материала, подготовку к лабораторным работам, выполнение курсовой работы, изучение дополнительной литературы, подготовку к сообщению на практических занятиях и научных конференциях.

Изучение курса сопровождается постоянным контролем самостоятельной работы студентов, разбором и обсуждением выполненных домашних заданий, с последующей корректировкой принятых ошибочных решений. Контроль выполнения индивидуальных домашних заданий осуществляет ведущий дисциплину преподаватель.

Преподавание дисциплины основано на максимальном использовании активных форм обучения и самостоятельной работы студентов. Под руководством преподавателя студенты должны самостоятельно осуществлять поиск

необходимой информации и принимать обоснованные решения по конкретным ситуациям.

В Интернете расположен учебно-методический комплекс по дисциплине «Электрические машины»: URL-адрес web-сайта <http://zabudsky.ru> (открытый доступ).

**Программу разработал:**

Корявых В.С., старший преподаватель \_\_\_\_\_  
(подпись)