

УТВЕРЖДАЮ  
 Директор ВШТЭ



## Рабочая программа дисциплины

**Б1.О.26** Электрические машины

Учебный план: ФГОС3++b130302-1\_21-14.plx

Кафедра: **30** Автоматизированного электропривода и электротехники

Направление подготовки:  
 (специальность) 13.03.02 Электроэнергетика и электротехника

Профиль подготовки: Электропривод и автоматика  
 (специализация)

Уровень образования: бакалавриат

Форма обучения: очная

### План учебного процесса

Семестр (курс для ЗАО)	Контактная работа обучающихся		Сам. работа	Контроль, час.	Трудоёмкость, ЗЕТ	Форма промежуточной аттестации	
	Лекции	Практ. занятия					
5	УП	17	34	21	36	3	Экзамен
	РПД	17	34	21	36		
6	УП	34	51	59	36	5	Экзамен, Курсовой проект
	РПД	34	51	59	36		
Итого	УП	51	85	80	72	8	
	РПД	51	85	80	72		

Рабочая программа дисциплины составлена в соответствии с федеральным государственным образовательным стандартом высшего образования по направлению подготовки 13.03.02 Электроэнергетика и электротехника, утвержденным приказом Министерства образования и науки Российской Федерации от 28.02.2018 г. № 144

Составитель (и):

старший преподаватель

Зятиков И.Д.

От кафедры составителя:

Заведующий кафедрой автоматизированного электропривода и электротехники

Благодарный Н.С.

От выпускающей кафедры:

Заведующий кафедрой

Благодарный Н.С.

Методический отдел:

Смирнова В.Г.

## 1 ВВЕДЕНИЕ К РАБОЧЕЙ ПРОГРАММЕ ДИСЦИПЛИНЫ

**1.1 Цель дисциплины:** Сформировать компетенции обучающегося в области эксплуатации электрических машин в сфере электропривода.

**1.2 Задачи дисциплины:**

- Изучить теоретические основы и принципы работы электрических машин.
- Рассмотреть вопросы выбора и применения электрических машин в области автоматизированного привода.

**1.3 Требования к предварительной подготовке обучающегося:**

Предварительная подготовка предполагает создание основы для формирования компетенций, указанных в п. 2, при изучении дисциплин:

Теоретические основы электротехники

Общая энергетика

Введение в специальность

## 2 КОМПЕТЕНЦИИ ОБУЧАЮЩЕГОСЯ, ФОРМИРУЕМЫЕ В РЕЗУЛЬТАТЕ ОСВОЕНИЯ ДИСЦИПЛИНЫ

<b>ОПК-4: Способен использовать методы анализа и моделирования электрических цепей и электрических машин</b>
<b>Знать:</b> Основы теории электромеханического преобразования энергии и физические основы работы электрических машин; конструкцию, принцип действия, основные характеристики и методы расчета трансформаторов, машин постоянного тока, асинхронных двигателей, синхронных машин.
<b>Уметь:</b> Рассчитывать основные характеристики и установившиеся режимы силовых трансформаторов; машин постоянного тока; асинхронных двигателей; режимы синхронных машин.
<b>Владеть:</b> Навыками работы с электрическими машинами в области электропривода; методами исследования характеристик двигателей и расчетом основных параметров.

### 3 РЕЗУЛЬТАТЫ ОБУЧЕНИЯ ПО ДИСЦИПЛИНЕ

Наименование и содержание разделов, тем и учебных занятий	Семестр (курс для ЗАО)	Контактная работа		СР (часы)	Инновац. формы занятий	Форма текущего контроля
		Лек. (часы)	Пр. (часы)			
Раздел 1. Введение в электромеханику.	5					К
Тема 1. Электромеханическое преобразование энергии. Электромеханика как научно-техническая дисциплина. История развития электрических машин. Назначение и классификация электрических машин. Основные законы электромеханического преобразования энергии.		1	3	2		
Тема 2. Режимы работы электрической машины. Типовые конструкции электрических машин. Свойства материалов. Потери энергии и КПД. Нагревание и охлаждение. Режимы работы электрической машины. Цели и содержание дисциплины.		2	4	2		
Раздел 2. Трансформаторы.						
Тема 3. Устройство и принцип действия однофазного трансформатора. Назначение и классификация трансформаторов. Конструкция и принцип действия. Уравнения напряжений, схема замещения и векторная диаграмма трансформатора в режиме холостого хода, короткого замыкания и работы под нагрузкой.		2	4	2		,К
Тема 4. Определение параметров трансформатора. Опытное определение параметров схемы замещения. Упрощенная векторная диаграмма трансформатора. Изменение вторичного напряжения трансформатора при различных характеристиках нагрузки. Внешняя характеристика. Энергетические диаграммы. Регулирование напряжения трансформатора. Группы соединений обмоток трансформаторов. Параллельная работа трансформаторов.		2	4	3		

Тема 5. Типы трансформаторов. Автотрансформаторы. Измерительные трансформаторы тока и напряжения. Сварочные трансформаторы.	2	3	2		
Раздел 3. Асинхронные машины.					
Тема 6. Общие вопросы теории машин переменного тока. Конструкция трехфазной обмотки, угловая система координат и образование вращающегося магнитного поля. Магнитодвижущая сила трехфазной обмотки и распределение индукции по окружности воздушного зазора. Электродвижущая сила индукции и индуктивные сопротивления трехфазной обмотки.	2	4	3	ГД	
Тема 7. Устройство и работа трехфазного асинхронного двигателя с короткозамкнутым ротором. Конструкция и принцип действия асинхронного двигателя. Вращающееся магнитное поле. Синхронная скорость. Скольжение. Приведение рабочих процессов асинхронного двигателя к работе трансформатора. Т-образная схема замещения. Векторная диаграмма. Г - образная схема замещения.	2	4	2		К
Тема 8. Характеристики трехфазного асинхронного двигателя. Энергетическая диаграмма. Электромагнитный момент и механическая характеристика асинхронного двигателя. Максимальный и пусковой электромагнитный момент. Формула Клосса. Условия устойчивости работы. Рабочие характеристики. Опытное определение параметров схемы замещения	2	4	2		
Тема 9. Пуск и реверсирование асинхронного двигателя. Пуск двигателя с короткозамкнутым ротором. Асинхронные короткозамкнутые двигатели с улучшенными пусковыми характеристиками. Регулирование частоты вращения асинхронных двигателей. Тормозные режимы. Однофазные асинхронные двигатели. Конденсаторные асинхронные двигатели. Асинхронный тахогенератор.	2	4	3		
Итого в семестре (на курсе для ЗАО)	17	34	21		
Консультации и промежуточная аттестация (Экзамен)	2,5		33,5		

Раздел 4. Синхронные машины.						
<p>Тема 10. Трехфазные синхронные генераторы. Назначение и принцип действия синхронного генератора. Системы возбуждения. Магнитное поле и электромагнитные параметры обмотки возбуждения. Метод двух реакций. Магнитные поля и ЭДС продольной и поперечной реакции якоря. Индуктивные сопротивления реакции якоря. Индуктивные сопротивления рассеяния обмотки якоря. Синхронные индуктивные сопротивления. Уравнения напряжения и векторные диаграммы. Характеристики синхронных генераторов. Регулирование реактивной мощности. Регулирование активной мощности. Режимы генератора и двигателя.</p>		8	12	14		К
<p>Тема 11. Преимущество и недостатки их по сравнению с асинхронными двигателями. Коэффициент мощности, максимальный момент, работа с перевозбуждением, перегрузочная способность, U-образная характеристика и КПД синхронных двигателей. Режим синхронного компенсатора. Характеристики двигателя. Способы пуска двигателей: с помощью разгонного двигателя, частотный и асинхронный пуск. Синхронные двигатели малой мощности: шаговые синхронные двигатели, синхронные реактивные, гистерезисные, с постоянными магнитами, безредукторные.</p>	6	10	12	16		
Раздел 5. Машины постоянного тока.						
<p>Тема 12. Генераторы постоянного тока. Назначение и конструкция машин постоянного тока. Принцип действия генератора и двигателя. Обмотки якоря машин постоянного тока. Магнитное поле полюсов. ЭДС якоря. Электромагнитный момент. Результирующее магнитное поле. Размагничивающее действие поперечной реакции якоря. Продольная реакция якоря. Компенсационная обмотка. Уравнение напряжений якорной цепи и уравнение моментов. Характеристики генератора постоянного тока при различных схемах возбуждения.</p>		8	16	16		К

Тема 13. Двигатели постоянного тока. Характеристики двигателя постоянного тока параллельного и независимого возбуждения. Пуск. Условие устойчивой работы двигателя. Искусственные механические характеристики. Генераторный и тормозной режимы. Способы регулирования частоты вращения. Характеристики двигателя последовательного возбуждения. Характеристики двигателя смешанного возбуждения. Рабочие характеристики двигателей постоянного тока.		8	11	13		
Итого в семестре (на курсе для ЗАО)		34	51	59		
Консультации и промежуточная аттестация (Экзамен, Курсовой проект)		2,5		33,5		
<b>Всего контактная работа и СР по дисциплине</b>		141		147		

#### 4 КУРСОВОЕ ПРОЕКТИРОВАНИЕ

**4.1 Цели и задачи курсовой работы (проекта):** Расчет характеристик и параметров трансформаторов, трехфазных асинхронных двигателей с короткозамкнутым ротором, двигателей постоянного тока с различным способом возбуждения.

**4.2 Тематика курсовой работы (проекта):** 1. Расчет параметров и рабочих характеристик однофазных трансформаторов.

2. Расчет параметров и рабочих характеристик трехфазных трансформаторов.

3. Расчет рабочих характеристик трехфазных асинхронных двигателей.

4. Расчет регулировочных и механических характеристик двигателей постоянного тока.

5. Способы регулирования частоты вращения ротора трехфазного асинхронного двигателя с короткозамкнутым ротором.

6. Регулирование частоты вращения якоря двигателя постоянного тока

**4.3 Требования к выполнению и представлению результатов курсовой работы (проекта):**

Курсовой проект выполняется с использованием программы MATLAB. Приборной базой для исследования является программа SIMULINK.

Результаты представляются в виде пояснительной записке объемом 20-25 страниц с графическими характеристиками исследуемого устройства. Записка содержит следующие обязательные разделы:

- Введение;
- Теоретическая часть;
- Расчетная часть;
- Экспериментальная часть;
- Заключение;
- Литература.

#### 5. ФОНД ОЦЕНОЧНЫХ СРЕДСТВ ДЛЯ ПРОВЕДЕНИЯ ПРОМЕЖУТОЧНОЙ АТТЕСТАЦИИ

**5.1 Описание показателей, критериев и системы оценивания результатов обучения**

**5.1.1 Показатели оценивания**

Код компетенции	Показатели оценивания результатов обучения	Наименование оценочного средства
ОПК-4	Имеет достаточное представление о теории электромеханического преобразователя энергии, принципах работы, конструкции, характеристики электрических машин. Правильно рассчитывает основные характеристики и режимы силовых трансформаторов. Показывает способность работать с электрическими машинами, вести расчет параметров, исследовать характеристики двигателей.	Вопросы устного собеседования Практико-ориентированные задания Курсовой проект

### 5.1.2 Система и критерии оценивания

Шкала оценивания	Критерии оценивания сформированности компетенций	
	Устное собеседование	Письменная работа
5 (отлично)	Полный, исчерпывающий ответ, явно демонстрирующий глубокое понимание предмета и широкую эрудицию в оцениваемой области. Критический, оригинальный подход к материалу. Обучающийся свободно ориентируется в типах электрических машин и трансформаторов, знает принцип их действия, режимы работы, основные характеристики и параметры, области их применения.	Полное и разностороннее рассмотрение вопросов, свидетельствующее о значительной самостоятельной работе с источниками. Качество исполнения всех элементов работы соответствует требованиям, содержание полностью соответствует заданию. Полученные результаты представлены на основании изучения и анализа исследуемой электрической цепи. Даны исчерпывающие выводы и полные ответы на поставленные вопросы. Работа представлена к защите в требуемые сроки.
4 (хорошо)	Ответ стандартный, в целом качественный, основан на всех обязательных источниках информации. Присутствуют небольшие пробелы в знаниях или несущественные ошибки.	Работа выполнена в необходимом объеме при отсутствии ошибок, что свидетельствует о самостоятельности при работе с источниками информации. Полученные результаты связаны с базовыми понятиями в области электротехники. Даны полные ответы на поставленные вопросы, но имеют место несущественные нарушения в оформлении работы или даны нечеткие выводы, или нарушены сроки предоставления работы к защите.
3 (удовлетворительно)	Ответ неполный, основанный только на лекционных материалах. При понимании сущности предмета в целом – существенные ошибки или пробелы в знаниях сразу по нескольким темам, незнание (путаница) важных терминов	Задание выполнено полностью, но в работе есть отдельные существенные ошибки, присутствуют неточности в ответах, либо качество представления работы низкое, либо работа представлена с опозданием.
2 (неудовлетворительно)	Неспособность ответить на вопрос без помощи экзаменатора. Незнание значительной части принципиально важных элементов дисциплины. Многочисленные грубые ошибки. Попытка списывания, использования неразрешенных технических устройств.	Отсутствие одного или нескольких обязательных элементов задания, либо многочисленные грубые ошибки в работе, либо грубые нарушения правил оформления или сроков представления работы. Неспособность ответить на вопросы без помощи преподавателя.

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

#### 5.2.1 Перечень контрольных вопросов

№ п/п	Формулировки вопросов
Семестр 5	
1	Г-образная схема замещения АД. Ток холостого хода при синхронном вращении.
2	Уравнения напряжений, Т-образная схема замещения, векторная диаграмма АД.
3	Назначение, конструкция и принцип действия АД (асинхронного двигателя).
4	Сварочный трансформатор.
5	Автотрансформатор. Измерительные трансформаторы тока и напряжения.
6	Многообмоточные однофазные трансформаторы.
7	Особенности трехфазных трансформаторов.
8	КПД трансформатора. Максимальное значение КПД.
9	Внешняя характеристика трансформатора и ее уравнение.
10	Упрощенная схема замещения трансформатора и ее векторная диаграмма.
11	Векторная диаграмма и схема замещения трансформатора в опыте короткого замыкания.
12	Векторная диаграмма и схема замещения трансформатора в опыте холостого хода.
13	Режим и опыт короткого замыкания однофазного трансформатора. О величине результирующего магнитного потока трансформатора.



14	Режим и опыт холостого хода однофазного трансформатора. Последовательное и параллельное соединение ветви намагничивания.
15	Схемы замещения приведенного трансформатора.
16	Векторная диаграмма приведенного трансформатора с активно-индуктивной и активно-емкостной нагрузках.
17	Приведенный трансформатор.
18	Уравнения электрического и магнитного состояния трансформатора.
19	Принцип работы однофазного двухобмоточного трансформатора (условно-логическая схема).
20	Трансформатор. Применение (подробно).
21	Последовательное согласное и встречное включение катушек (без и с ферромагнетиком). Теория и экспериментальные результаты.
22	Напряжение, магнитный поток и форма кривой тока катушки со стальным сердечником (активным сопротивлением и потоком рассеяния катушки пренебречь).
23	Электромагнитные процессы с переменной МДС с ферромагнитным сердечником. Уравнение электрического равновесия в индуктивной катушке (уравнение напряжений) и векторная диаграмма катушки со стальным сердечником.
24	Экспериментальные исследования индуктивных катушки без и с ферромагнетиками. Сопоставление результатов с теорией.
25	Расчет индуктивной катушки с и без ферромагнитного сердечника по экспериментальным данным ( $U, I, P, W$ ).
26	Потери в стальном магнитопроводе индуктивной катушки.
27	Режимы генератора и двигателя в синхронной машине.
28	Регулирование активной и реактивной мощности синхронного генератора.
29	U-образная характеристика синхронного генератора.
30	Электромагнитный момент и угловая характеристика синхронного генератора.
31	Номинальная мощность и КПД синхронного генератора.
32	Назначение, конструкция и принцип действия синхронного генератора.
33	Регулирование частоты вращения изменением активного сопротивления в цепи ротора.
34	Регулирование частоты вращения АД с изменением частоты питающего напряжения.
35	Пуск трехфазных АД.
36	Условия устойчивой работы и рабочие характеристики АД.
37	Формула Клосса для асинхронного трехфазного двигателя
38	Механическая характеристика АД.
39	Электромагнитный момент АД.
40	Энергетическая диаграмма и КПД асинхронного двигателя.
Семестр 6	
41	Потери мощности и КПД двигателя постоянного тока.
42	Сравнение механических характеристик ДПТ с различными схемами соединения обмоток.
43	Рабочие характеристики ДПТ последовательного возбуждения.
44	Способы регулирования частоты вращения ДПТ последовательного возбуждения.
45	Естественная и искусственные механические характеристики ДПТ последовательного возбуждения.
46	Механические характеристики двигателя постоянного тока независимого возбуждения при разных добавочных сопротивлениях.
47	Механические характеристики двигателя постоянного тока независимого возбуждения при различных токах возбуждения.
48	Механические характеристики двигателя постоянного тока независимого возбуждения при различных напряжениях.
49	Способы регулирования частоты вращения ДПТ параллельного (независимого) возбуждения.
50	Естественная и искусственная механические характеристики ДПТ параллельного (независимого) возбуждения. Условия устойчивой работы двигателя.
51	Способы пуска ДПТ (двигателя постоянного тока).
52	Сравнение внешних регулировочных характеристик генераторов с различными схемами соединения обмоток.
53	Нагрузочные характеристики генератора смешанного возбуждения при согласном и встречном включении обмоток.
54	Характеристики генераторов параллельного возбуждения.
55	Характеристики генераторов независимого возбуждения МПТ.
56	Электромагнитный момент МПТ.
57	ЭДС якоря МПТ.

58	Принцип действия и уравнение напряжений двигателя постоянного тока.
59	Принцип действия и уравнение напряжений генератора постоянного тока.
60	Назначение и особенности конструкция МПТ (машин постоянного тока).
61	Синхронные двигатели малой мощности.
62	Пуск синхронного двигателя.
63	Регулирование активной и реактивной мощности синхронного двигателя.
64	U-образная характеристика синхронного двигателя.
65	Электромагнитный момент и угловая характеристика синхронного двигателя.
66	Уравнение электрического состояния, схема замещения и векторная диаграмма фазы синхронного двигателя.

### 5.2.2 Типовые тестовые задания

Не предусмотрено

### 5.2.3 Типовые практико-ориентированные задания (задачи, кейсы)

1. Нарисовать схему замещения и векторную диаграмму трансформатора в опыте холостого хода.
2. Нарисовать схему замещения приведенного трансформатора с активной нагрузкой.
3. Как рассчитать для трехфазного асинхронного двигателя частоту вращающегося магнитного поля, частоту вращения ротора, скольжение, электромагнитный вращающий момент.
4. Нарисовать внешнюю характеристику генератора постоянного тока с независимым возбуждением при  $I_v = \text{const}$  и записать ее уравнение (без учета реакции якоря).
5. Нарисовать механические характеристики двигателя постоянного тока с независимым возбуждением при неизменном напряжении  $U_a$  и разных токах возбуждения.
6. Нарисовать для двигателя постоянного тока зависимость  $M = f(P_2)$  при неизменном токе возбуждения. Записать уравнение.

## 5.3 Методические материалы, определяющие процедуры оценивания знаний, умений, владений (навыков и (или) практического опыта деятельности)

### 5.3.1 Условия допуска обучающегося к промежуточной аттестации и порядок ликвидации академической задолженности

Проведение промежуточной аттестации регламентировано локальным нормативным актом СПбГУПТД «Положение о проведении текущего контроля успеваемости и промежуточной аттестации обучающихся»

### 5.3.2 Форма проведения промежуточной аттестации по дисциплине

Устная  Письменная  Компьютерное тестирование  Иная

### 5.3.3 Особенности проведения промежуточной аттестации по дисциплине

- Возможность пользоваться справочными таблицами, справочниками по выпускаемым электрическим машинам и трансформаторам;
- Время на подготовку ответа по билету 45 минут;
- Время на защиту курсового проекта 10-15 минут.

## 6. УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКОЕ И ИНФОРМАЦИОННОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ

### 6.1 Учебная литература

Автор	Заглавие	Издательство	Год издания	Ссылка
<b>6.1.1 Основная учебная литература</b>				
Попова, И. С.	Электрические машины. Асинхронные машины	Москва: Издательский Дом МИСиС	2017	<a href="http://www.iprbookshop.ru/80271.html">http://www.iprbookshop.ru/80271.html</a>
Анисимова, М. С.	Электрические машины. Машины постоянного тока	Москва: Издательский Дом МИСиС	2017	<a href="http://www.iprbookshop.ru/80272.html">http://www.iprbookshop.ru/80272.html</a>
<b>6.1.2 Дополнительная учебная литература</b>				
В.Ф. Васильев, В.И. Королев, К.А. Шиповалова	Частотное регулирование однофазного асинхронного двигателя [Текст]. Ч.2.: учебное пособие	М-во образования и науки РФ, ВШТЭ СПбГУПТД. – СПб.: ВШТЭ СПбГУПТД	2018	<a href="http://www.nizrp.narod.ru/metod/kafavpriviel/2018_11_21_01.pdf">http://www.nizrp.narod.ru/metod/kafavpriviel/2018_11_21_01.pdf</a>
В.Ф. Васильев, И.В. Королев, А.О. Аминова	Асинхронные конденсаторные двигатели [Текст]. Ч.1.: учебное пособие	М-во образования и науки РФ, ВШТЭ СПбГУПТД. – СПб.: ВШТЭ СПбГУПТД	2018	<a href="http://nizrp.narod.ru/metod/kafavpriviel/2018_02_15_01.pdf">http://nizrp.narod.ru/metod/kafavpriviel/2018_02_15_01.pdf</a>

В.Ф. Васильев, А.А. Мартынов	Учебные испытания двигателя постоянного тока независимого возбуждения [Текст]: методические указания к выполнению лабораторных работ	М-во образования и науки РФ, СПбГТУРП. – СПб.: СПбГТУРП	2008	<a href="http://nizrp.narod.ru/my27-42.pdf">http://nizrp.narod.ru/my27-42.pdf</a>
Алиев, И. И.	Электротехника и электрооборудование	Саратов: Вузовское образование	2014	<a href="http://www.iprbookshop.ru/9654.html">http://www.iprbookshop.ru/9654.html</a>
В.Ф. Васильев [и др.]	Асинхронный двигатель в трёхфазном (Y) и однофазном режимах [Текст] Ч.1 : учеб. пособие	М-во науки и высшего образования РФ, ВШТЭ СПбГУПТД. – СПб. : ВШТЭ СПбГУПТД	2019	<a href="http://nizrp.narod.ru/metod/kafavtpriviel/2019_09_11_02.pdf">http://nizrp.narod.ru/metod/kafavtpriviel/2019_09_11_02.pdf</a>
Мещеряков, В. Н., Шишлин, Д. И.	Синхронные машины	Липецк: Липецкий государственный технический университет, ЭБС АСВ	2013	<a href="http://www.iprbookshop.ru/22934.html">http://www.iprbookshop.ru/22934.html</a>

### 6.2 Перечень профессиональных баз данных и информационно-справочных систем

Электронно-библиотечная система IPRbooks [Электронный ресурс]. URL: <http://www.iprbookshop.ru/>  
 Электронная библиотека ВШТЭ СПб ГУПТД [Электронный ресурс]. URL: <http://nizrp.narod.ru>  
 ГОСТ База стандартов. Общероссийский классификатор стандартов. Электротехника. [Электронный ресурс]. URL: <https://engenepr.ru/oks/elektrotehnika>

### 6.3 Перечень лицензионного и свободно распространяемого программного обеспечения

MicrosoftWindows 8  
 MicrosoftOfficeProfessional 2013

### 6.4 Описание материально-технической базы, необходимой для осуществления образовательного процесса по дисциплине

Аудитория	Оснащение
А-101а	Лабораторный стенд по исследованию электрических цепей постоянного и переменного тока. Лабораторные стенды по исследованию: трансформаторов, трехфазного, конденсаторного и однофазного асинхронного двигателя, машин постоянного тока
Лекционная аудитория	Мультимедийное оборудование, специализированная мебель, доска