МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
СТАРООСКОЛЬСКИЙ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЙ ИНСТИТУТ ИМ. А.А. УГАРОВА
(филиал) федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего образования
«Национальный исследовательский технологический университет МИСИС»
СТИ НИТУ «МИСИС»

Рабочая программа утверждена
решением Ученого совета
СТИ НИТУ «МИСИС»
от «23» июня 2026 г.
протокол № 38

Рабочая программа дисциплины

Электрические машины

Закреплена за кафедрой **Кафедра автоматизированных и информационных систем управления им. Ю.И. Еременко**

Направление подготовки 13.03.02 Электроэнергетика и электротехника

Профиль Электропривод и автоматика

Квалификация **Бакалавр**

Форма обучения **Очная**

Общая трудоемкость **4 ЗЕТ**

Часов по учебному плану 144
в том числе:
аудиторные занятия 51
самостоятельная работа 93

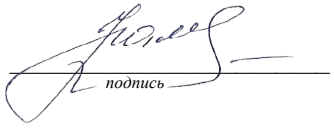
Формы контроля в семестрах:
зачет 4
курсовая работа 5

Распределение часов дисциплины по семестрам

Семестр	4		5		Итого	
Вид занятий	УП	РП	УП	РП	УП	РП
Лекции	17	17	-	-	17	17
Лабораторные	17	17	-	-	17	17
Практические	17	17			17	17
Контактная работа	51	51			51	51
Сам. работа	57	57	36	36	93	93
Итого:	108	108	36	36	144	144

Год набора 2026 г.

Программу составил:
доцент каф. АИСУ им. Ю.И. Еременко, кандидат педагогических наук, доцент
Гамбург Клавдия Соломоновна
Должность,уч.ст., уч.зв ФИО полностью


подпись

Рабочая программа дисциплины

Электрические машины
наименование

Разработана в соответствии с ОС ВО НИТУ МИСИС:
Самостоятельно устанавливаемый образовательный стандарт высшего образования - бакалавриат Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования «Национальный исследовательский технологический университет «МИСИС» по направлению подготовки 13.03.02 Электроэнергетика и электротехника *(*приказ от 05.03.2020 г. № 95 о.в.)

Составлена на основании учебного плана 2026 года набора:
13.03.02 Электроэнергетика и электротехника,
Профиль: Электропривод и автоматика, утвержденного Ученым советом СТИ НИТУ «МИСИС» 23.06.2026 г., протокол № 38.

Рабочая программа одобрена на заседании кафедры
Автоматизированных и информационных систем управления им. Ю.И. Еременко
наименование кафедры

Протокол от «22» июня 2026 г. № 6.

и.о. зав. кафедрой АИСУ им. Ю.И. Еременко
аббревиатура наименования кафедры


подпись

Д.А.Полещенко
И.О. Фамилия

«22» июня 2026 г

Руководитель ОПОП ВО
и.о. зав. кафедрой АИСУ им. Ю.И. Еременко,
кандидат технических наук, доцент
должность, уч.ст., уч.зв.


подпись

Д.А. Полещенко
И.О. Фамилия

«22» июня 2026 г.

1. ЦЕЛИ ОСВОЕНИЯ
Цель дисциплины – формирование у обучающихся знаний, умений и навыков в области эксплуатации, проектирования и испытания электрических машин, необходимых для понимания роли электромеханических преобразователей и трансформаторов в современном автоматизированном производстве. Задачи дисциплины: получение обучающимися основных знаний в области эксплуатации, проектирования и испытания электрических машин для решения практических задач.

2. МЕСТО В СТРУКТУРЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЙ ПРОГРАММЫ	
Цикл (раздел) ОП:	Б1. О.27
2.1	**Требования к предварительной подготовке обучающегося:**
2.1.1	Математика
2.1.2	Физика
2.1.3	Информатика
2.1.4	Электротехническое и конструкционное материаловедение
2.1.5	Электротехника
2.2	**Дисциплины и практики, для которых освоение данной дисциплины необходимо как предшествующее:**
2.2.1	Теория электропривода
2.2.2	Электромеханическое оборудование
2.2.3	Электрооборудование промышленных предприятий
2.2.4	Электрические сети и подстанции

3. ИНДИКАТОРЫ ФОРМИРОВАНИЯ КОМПЕТЕНЦИЙ, СОВМЕЩЕННЫЕ С РЕЗУЛЬТАТАМИ ОБУЧЕНИЯ ПО ДИСЦИПЛИНЕ	
ОПК-3: Способен осуществлять моделирование, анализ и эксперименты в целях проведения детального исследования для решения задач в профессиональной области, использовать методы анализа и моделирования электрических цепей и электрических машин.	
Знать:	ОПК-3-З1 Знать параметры электрических машин, схемы замещения, порядок расчета параметров схем замещения различных электрических машин
Уметь:	ОПК-3-У1 Уметь составлять схемы замещения электрических машин и трансформаторов; моделировать, проектировать электрические машины; анализировать их режимы работы.
Владеть:	ОПК-3-В1 Владеть навыками эксплуатации электрических машин, определения параметров, снятия характеристик; испытания электрических машин, анализа полученных характеристик и параметров; проектирования электрических машин.
УК-1: Способен осуществлять поиск, критический анализ и синтез информации, умение анализировать процессы и системы с использованием соответствующих аналитических, вычислительных и экспериментальных методов, применять системный подход для решения поставленных задач	
Знать:	УК-1-З1 Знать принцип действия электрических машин и их характеристики; УК-1-З2 Знать особенности конструкций современных типов электрических машин и их характеристики. УК-1-З3 Знать справочную, нормативную базы данных, стандарты и регламенты, методическую литературу в области электрических машин; УК-1-З4 Знать методы анализа, обработки информации эксплуатационных исследований электрических машин.
Уметь:	УК-1-У1 Уметь использовать компьютерные технологии, прикладные программы для проектирования, моделирования, обработки информации при испытаниях; построении графических зависимостей, моделей, схем; критически оценивать, анализировать профессиональную информацию и полученные данные в области электрических машин.

4. СТРУКТУРА И СОДЕРЖАНИЕ						
Код занятия	**Наименование разделов и тем /вид занятия/**	**Семестр**	**Количество часов**	**Компетенции**	**Литература и электронные ресурсы**	**Примечание**
	Раздел 1. Общие вопросы					
1.1	Общие вопросы электромеханического и электрического преобразования энергии. Физические законы, лежащие в основе преобразования	4	1	УК-1-31 УК-1-32 УК-1-33	Л1.1 Л.1.4 Л2.1 Л2.2 Л2.3	

	электрической и механической энергии. Области применения электромеханического преобразования энергии. Общие понятия об электрических машинах. Классификации электрических машин. /Лек/					
1.2	Проработка лекционного материала. Самостоятельное изучение литературы. /Ср/	4	7	УК-1-З1, УК-1-З2 УК-1-З3	Л1.1 Л1.4 Л2.1 Л2.2 Л2.3 Э1 Э2	
	Раздел 2. Трансформаторы					
2.1	Классификации трансформаторов. Однофазный трансформатор. Конструкция, принцип действия однофазного трансформатора. Характеристики и параметры трансформатора. Режимы работы и опыты. Трёхфазный трансформатор. Схемы и группы соединения обмоток. Специальные трансформаторы. /Лек/	4	3	УК-1-З1, УК-1-З2, УК-1-З3 ОПК-3-З1	Л1.1 Л.1.4 Л2.1 Л2.2 Л2.3	
2.2	Исследование однофазного двухобмоточного трансформатора /Лаб./	4	4	УК-1-З1 УК-1-З2, УК-1-У1, ОПК-3-В1	Л1.1 Л.1.4 Л2.1 Л2.2 Л2.3 Л.3.2	Лаборатория электрических машин и привода 1/520
2.3	Расчет параметров схем замещения трансфоматоров. Выбор трансформаторов. /ПЗ/	4	3	ОПК-3-З1, ОПК-3-У1, ОПК-3-В1 УК-1-З1 УК-1-З2 УК-1-З3 УК-1-З4 УК-1-У1	Л1.2 Л.1.3 Л.1.4 Л2.1 Л2.2 Л2.3 Л.3.1 Э1 Э2	
2.4	Проработка лекционного материала. Самостоятельное изучение литературы. Подготовка к лабораторной работе. Выполнение отчета и защита лабораторной работы. /Ср/	4	13	УК-1-З1 УК-1-З2, УК-1-У1, УК-1-З3, ОПК-3-З1, ОПК-3-У1 ОПК-3-В1	Л1.1 Л1.4 Л2.1 Л2.2 Л2.3 Л3.2 Э1 Э2	
	Раздел 3. Коллекторные машины. Электрические машины постоянного тока.					
3.1	Классификация машин постоянного тока (МПТ). Конструкция машин постоянного тока, особенности, схемы включения обмоток возбуждения. Принцип действия генератора. Самовозбуждение ГПТ. Основные характеристики и параметры ГПТ. Двигатели постоянного тока (ДПТ). Принцип действия. Механические, электромеханические, рабочие характеристики. Схемы замещения. Расчёт параметров. Пуск, регулирование скорости вращения, торможение ДПТ.	4	4	УК-1-З1, УК-1-З2, УК-1-З3 ОПК-3-З1	Л1.1 Л.1.4 Л2.1 Л2.2 Л2.3	

	Реакция якоря в МПТ. Коммутация в МПТ /Лек/					
3.2	Исследование машины постоянного тока с независимым возбуждением (МПТНВ)/Лаб/	4	5	УК-1-З1, УК-1-З2, УК-1-З3 ОПК-3-З1 ОПК-3-У1 ОПК-3-В1	Л1.1 Л1.4 Л2.1 Л2.2 Л2.3 Э1 Э2	Лаборатория электрических машин и привода 1/520
3.3	Расчет параметров ГПТ и ДПТ. Построение характеристик ГПТ и ДПТ. Пуск, регулирование скорости вращения, торможение ДПТ. /ПЗ/	4	5	ОПК-3-З1, ОПК-3-У1, ОПК-3-В1 УК-1-З1 УК-1-З2 УК-1-З3 УК-1-З4 УК-1-У1	Л1.2 Л.1.3 Л.1.4 Л2.1 Л2.2 Л2.3 Л.3.1 Э1 Э2	
3.4	Проработка лекционного материала. Выполнение расчетов и оформление лабораторной работы. Самостоятельное изучение литературы. /Ср/	4	15	УК-1-З1, УК-1-З2, УК-1-З3 ОПК-3-З1 ОПК-3-У1 ОПК-3-В1	Л1.1 Л1.4 Л2.1 Л2.2 Л2.3 Э1 Э2	
	Раздел 4. Бесколлекторные машины. Электрические машины переменного тока.					
4.1	Классификация машин переменного тока. Конструкция статора. Асинхронные двигатели (АД). Понятие о скольжении. Принцип действия АД. Основные характеристики. Пуск, регулирование скорости вращения, торможение АД. /Лек/	4	4	УК-1-З1 УК-1-З2 УК-1-З3 УК-1-З4 ОПК-3-З1	Л1.1 Л.1.4 Л2.1 Л2.2 Л2.3	
4.2	Исследование способов регулирования скорости вращения асинхронных двигателей с короткозамкнутым ротором /Лаб/	4	4	УК-1-З1 УК-1-З2, УК-1-У1, ОПК-3-В1	Л1.1 Л.1.4 Л2.1 Л2.2 Л2.3 Л.3.2	Лаборатория электрических машин и привода 1/520
4.3.	Расчет параметров АД. Схемы замещения АД. Построение основных характеристик АД с КЗ и фазным ротором. /ПЗ/	4	5	ОПК-3-З1, ОПК-3-У1, ОПК-3-В1 УК-1-З1 УК-1-З2 УК-1-З3 УК-1-З4 УК-1-У1	Л1.2 Л.1.3 Л.1.4 Л2.1 Л2.2 Л2.3 Л.3.1 Э1 Э2	
4.4	Синхронные машины. Классификация синхронных машин (СМ). Конструкция СМ. Синхронный генератор (СГ). Основные характеристики СГ. Реакция якоря. Векторные диаграммы СМ. /Лек/	4	2	УК-1-З1 УК-1-З2 УК-1-З3 УК-1-З4 ОПК-3-З1	Л1.1 Л.1.4 Л2.1 Л2.2 Л2.3	
4.5	Синхронные двигатели (СД). Особенности конструкции СД. Основные характеристики СД. Пуск, регулирование скорости вращения, торможение СД. Синхронный компенсатор. /Лек/	4	2	УК-1-З1 УК-1-З2	Л1.1 Л.1.4 Л2.1 Л2.2 Л2.3	
4.6	Исследование синхронного генератора /Лаб/	4	4	УК-1-З1 УК-1-З2	Л1.2 Л.1.3	Лаборатория электрических

				УК-1-З3 УК-1-З4 УК-1-У1 ОПК-3-З1, ОПК-3-У1, ОПК-3-В1	Л.1.4 Л2.1 Л2.2 Л2.3 Л.3.1	машин и привода 1/520
4.7.	Расчет параметров СГ и СД. Схемы замещения СМ. Построение основных характеристик СМ. Вектрные диаграммы СМ. Выбор СМ. /ПЗ/	4	4	ОПК-3-З1, ОПК-3-У1, ОПК-3-В1 УК-1-З1 УК-1-З2 УК-1-З3 УК-1-З4 УК-1-У1	Л1.2 Л.1.3 Л.1.4 Л2.1 Л2.2 Л2.3 Л.3.1 Э1 Э2	
4.8	Проработка лекционного материала. Самостоятельное изучение литературы. Подготовка к лабораторным работам. Оформление и защита лабораторной работы /Ср/	4	15	УК-1-З1 УК-1-З2 УК-1-З3 УК-1-З4 УК-1-У1 ОПК-3-З1, ОПК-3-У1, ОПК-3-В1	Л1.1 Л1.4 Л2.1 Л2.2 Л2.3 Л3.2 Э1 Э2	
	Раздел 5. Машины постоянного и переменного тока специального применения и малых мощностей					
5.1	Вентильные двигатели постоянного тока. Исполнительные ДПТ, униполярные машины. Тахогенераторы. Асинхронные машины синхронной связи, линейные и исполнительные двигатели. Синхронные машины с постоянными магнитами, реактивные двигатели, гистерезисные, шаговые двигатели. Машины малых мощностей и микромашины /Лек/	4	1	УК-1-З1 УК-1-З2 УК-1-З3, ОПК-3-З1,	Л1.1 Л1.4 Л2.1 Л2.2 Л2.3 Э1 Э2	
5.2	Проработка лекционного материала. Самостоятельное изучение литературы. /Ср/	4	7	УК-1-З1 УК-1-З2 УК-2-У1 УК-1-З3 УК-1-З4 УК-1-У2 ОПК-3-З1 ОПК-3-У1 ОПК-3-В1	Л 1.1 Л 1.2 Л 1.3 Л 2.1 Л 2.2 Л 2.3 Л 3.1 Л 3.2	
	Самостоятельная работа по выполнению и подготовке к защите курсовой работы. /Ср/	5	36	УК-1-З1, УК-1-З2, УК-1-З3 УК-1-У2 УК-1-З4 ОПК-3-З1 ОПК-3-У1	Л1.1 Л1.4 Л2.1 Л2.2 Л2.3 Л3.3 Э1 Э2	

5. ФОНД ОЦЕНОЧНЫХ МАТЕРИАЛОВ

5.1. Вопросы для самостоятельной подготовки к экзамену

Экзамен не предусмотрен

5.2. Перечень работ, выполняемых по дисциплине

По дисциплине предусмотрено: выполнение и защита курсовой работы [Л 3.3]; выполнение и защита лабораторных работ [Л 3.2]; решение практических заданий.

Лабораторные работы :

1.Исследование однофазного двухобмоточного трансформатора (УК-1-З1, УК-1-З2, УК-1-У1, ОПК-3-В1) [Л 3.2]

2.Исследование машины постоянного тока с независимым возбуждением (МПТНВ) (УК-1-31,УК-1-32,УК-1-33, ОПК-3-31, ОПК-3-У1, ОПК-3-В1) [Л 3.2]
3.Исследование способов регулирования скорости асинхронных двигателей с короткозамкнутым ротором (УК-1-31. УК-1-32, УК-1-У1, ОПК-3-В1). [Л 3.2] .
4.Исследование синхронного генератора(УК-1-31,УК-1-32, УК-1-У2,УК-1-33, УК-1-34 УК-1-У1, ОПК-3-31, ОПК-3-У1, ОПК-3-В1). [Л 3.2]
курсовая работа по индивидуальным вариантам на тему: «Расчёт и выбор силовой части АЭП».
(УК-1-31, УК-1-32,УК-1-33. УК-1-У1. УК-1-34.ОПК-3-31.ОПК-3-У1) [Л 3.1].

Вопросы для самостоятельной подготовки

Разделы 1, 2

1. Классификация электрических машин, их преимущества, направления развития. Номинальные параметры. (УК-1-31)
2. Принцип действия трансформатора, устройство, преобразование параметров. (УК-1-32)
3. Опыты холостого хода и короткого замыкания трансформатора: схемы замещения и определяемые параметры. (УК-1-31, ОПК-3-31)
4. Работа трансформатора под нагрузкой. Уравнение токов. Уравнение электрического равновесия токов и напряжений обмоток трансформатора. (УК-1-31, ОПК-3-31)
5. Электрическая схема замещения трансформатора. Приведенный трансформатор. (ОПК-3-31)
6. Векторная диаграмма однофазного трансформатора при RL-нагрузке и RC-нагрузке (аналитические зависимости и порядок построения). (ОПК-3-31)
7. Потери мощности и КПД трансформатора. Оптимальная нагрузка трансформатора. (УК-1-31, УК-1-32)
8. Внешняя характеристика трансформатора. (УК-1-31, УК-1-32)
9. Трёхфазный трансформатор: конструкция, (маркировка выводов обмоток), основные схемы включения обмоток и группы соединений. (УК-1-31, УК-1-32)
10. Параллельная работа трансформаторов (условия включения на параллельную работу). (УК-1-31, УК-1-32, ОПК-3-31)
11. Сварочный трансформатор. Способы регулирования сварочного тока. (УК-1-31, УК-1-32)
12. Автотрансформаторы. Измерительные трансформаторы тока и напряжения. (УК-1-31, УК-1-32)

Раздел 3.

1. Устройство машин постоянного тока. Назначение конструктивных элементов. (УК-1-31, УК-1-32)
2. Принцип действия машин постоянного тока. ЭДС и электромагнитный момент машин. (УК-1-31)
3. Процесс самовозбуждения машин постоянного тока: принципы самовозбуждения. (УК-1-31)
4. Расчет магнитной цепи машины постоянного тока. (ОПК-3-31)
5. Коммутация в машинах постоянного тока. Способы улучшения коммутации. Реакция якоря (УК-1-31, УК-1-32)
6. Характеристики генераторов постоянного тока. (УК-1-31, УК-1-32)
7. Внешние характеристики генераторов различных способов возбуждения. (УК-1-31, УК-1-32)
8. Двигатели постоянного тока независимого и параллельного возбуждения: схемы включения, механической характеристики (УК-1-31, УК-1-32)
9. Регулирование угловой скорости вращения двигателей постоянного тока независимого возбуждения. Механические характеристики регулирования. (УК-1-31, УК-1-32)
10. Пуск двигателей постоянного тока. Особенности пуска двигателей различных схем включения. (УК-1-32)
11. Двигатели постоянного тока последовательного и смешанного возбуждения: схемы включения, механические характеристики, особенности. (УК-1-32)
12. Тормозные режимы двигателей постоянного тока Тормозные механические характеристики. (УК-1-31, УК-1-32)
13. Потери и КПД машин постоянного тока. (УК-1-31, УК-1-32)
14. Саморегулирование двигателей постоянного тока. (УК-1-31)
15. Механические характеристики двигателей постоянного тока. Уравнение механической характеристики. (УК-1-31)

Раздел 4.

1. Бесколлекторные машины переменного тока. (УК-1-32)
2. Устройство трёхфазного асинхронного двигателя, назначение конструктивных элементов. (УК-1-32)
3. Принцип действия асинхронного двигателя. Скольжение. (УК-1-31)
4. Работа асинхронного двигателя при вращающемся роторе. (УК-1-31)
5. Электрическая схема замещения трехфазного асинхронного двигателя при вращающемся роторе. (ОПК-3-31)
6. ЭДС обмотки трехфазного асинхронного двигателя. (УК-1-31)
7. Энергетическая диаграмма асинхронного двигателя. Потери и КПД асинхронного двигателя. (УК-1-31, УК-1-32)
8. Механические характеристики трехфазного асинхронного двигателя. (УК-1-31)
9. Пусковые свойства асинхронного двигателя с КЗ и фазным ротором. (УК-1-31, УК-1-32)
10. Рабочие характеристики трехфазного асинхронного двигателя. (УК-1-31)
11. Регулирование скорости вращения трехфазного асинхронного двигателя. (УК-1-31)
12. Тормозные режимы асинхронного двигателя. (УК-1-31)
13. Основные свойства трехфазного асинхронного двигателя. (УК-1-31, УК-1-32)
14.Работа трехфазного асинхронного двигателя при вращающемся и заторможенном роторе. (УК-1-31)
15. Однофазный асинхронный двигатель. Механическая характеристика. (УК-1-31, УК-1-32)
16. Вращающееся и пульсирующее магнитное поле и его МДС. (УК-1-31)

17. Устройство синхронных машин, назначение конструкционных элементов. (УК-1-32)
18. Способы возбуждения синхронных машин. (УК-1-31, УК-1-32)
19. Реакция якоря синхронных машин. (УК-1-31)
20. Характеристики синхронного генератора. (УК-1-31, УК-1-32)

21. Векторные диаграммы явнополюсного и неявнополюсного синхронного генератора. (ОПК-3-З1, УК-1-З1)
22. Параллельная работа синхронного генератора. (УК-1-З1, УК-1-З2)
23. Угловые характеристики синхронного генератора и синхронного двигателя. (УК-1-З1)
24. U-образные характеристики синхронных машин. (УК-1-З1)
25. Способы пуска синхронных двигателей. (УК-1-З1, УК-1-З2)
26. Рабочие и механические характеристики синхронного двигателя. (УК-1-З1, УК-1-З2)
27. Преимущества и недостатки синхронных двигателей (УК-1-З1, УК-1-З2)
28. Синхронный компенсатор: назначение, особенности конструкции, векторные диаграммы. (ОПК-3-З1)
29. Регулирование скорости вращения синхронных двигателей. (УК-1-З1)

Раздел 5

1. Двигатели постоянного тока малой мощности. (УК-1-З1, УК-1-З2)
2. Микромашины. (УК-1-З1, УК-1-З2)
3. Универсальный коллекторный двигатель. (УК-1-З1, УК-1-З2)
4. Исполнительный двигатель постоянного тока. (УК-1-З1, УК-1-З2)
5. Принцип действия гистерезисного двигателя. (УК-1-З1)
6. Индукторная синхронная машина. Устройство и принцип действия (УК-1-З1, УК-1-З2)
7. Шаговый двигатель. (УК-1-З1, УК-1-З2)

Перечень вопросов для защиты лабораторных работ

Лабораторная работа 1. (УК-1-З1, УК-1-З2, УК-1-У1, ОПК-3-В1)

1. Устройство и принцип действия однофазного трансформатора.
2. Опыт х.х. и определяемые параметры.
3. Опыт короткого замыкания и определяемые параметры.
4. Внешняя характеристика трансформатора
5. Потери и КПД трансформатора.
6. Векторная диаграмма и аналитические зависимости для её построения.
7. Схема замещения трансформатора.
8. Связь ЭДС и магнитного потока трансформатора.
9. Что такое приведённый трансформатор?
10. Закон полного тока для трансформатора.
11. Уравнение электрического равновесия трансформатора.
12. Уравнения МДС и токов однофазного трансформатора.
13. Как определить начала и концы обмоток трансформатора?
14. Схемы и группы соединений обмоток трансформатора.
15. Как определяются приведенные параметры вторичной обмотки?
16. Способы охлаждения трансформаторов.
17. Каков результат включения трансформатора в сеть постоянного напряжения?
18. Конструктивное отличие обмоток высокого и низкого напряжений, обозначения их выводов.
19. Какими потерями пренебрегают при опытах короткого замыкания и холостого хода и почему?
20. Какое назначение измерительных трансформаторов?
21. Как определить опытным путём напряжение короткого замыкания?
22. Почему в технической характеристике трансформатора указывается полная номинальная мощность?
23. Какими параметрами определяется качество трансформаторного масла?
24. Как изменится магнитный поток трансформатора при уменьшении нагрузки, сечения магнитопровода, частоты питающей сети, индукции стали?
25. Как изменится ток холостого хода трансформатора при условиях п.24?
26. Регулирование напряжения трансформаторов (принципы РБВ и РПН).
27. Трансформаторы специального назначения.
28. Условия включения трансформаторов на параллельную работу.
29. Какие преимущества трёхобмоточного трансформатора?
30. Как регулируют ток сварочных трансформаторов?

Лабораторная работа 2. (УК-1-З1,УК-1-З2,УК-1-З3,ОПК-3-З1, ОПК-3-У1, ОПК-3-В1)

1. Какую роль играет ОВ в ДПТ?
2. Виды соединения ОВ с ОЯ?
3. Какие виды потерь возникают из-за щёточно-коллекторного узла?
4. Что является основным конструктивным недостатком ДПТ
5. Во сколько раз пусковой ток в ДПТ больше тока номинального?
6. Какой из режимов работы машины постоянного тока с последовательным соединением ОВ не существует?
7. Что создают полюса постоянных магнитов, расположенные на статоре ДПТ?
8. Какой способ соединения ОЯ с ОВ обеспечивает максимальный КПД?
9. Что такое механическая характеристика МПТ?
10. В реальных условиях при работе двигателей вхолостую (М = 0) в обмотке якоря существует небольшой ток холостого хода Iхх.Чем он обусловлен?
11. Какое уравнение описывает механическую характеристику МПТ?
12. Какое уравнение описывает электромеханическую характеристику МПТ?
13. Напишите уравнение жёсткости. Что геометрически означает жесткость характеристики?
14. Как меняется скорость вращения вала двигателя при уменьшении напряжения питающей сети?
15. В какой зоне изменение питающего напряжения позволяет регулировать скорость вращения вала ДПТ?:

16. За счёт чего реализуется регулирование скорости ДПТ магнитным потоком?
17. При регулировании скорости ДПТ магнитным потоком, электромагнитный момент двигателя будет уменьшаться, а мощность ?
18. При каком способе регулирования скорости ДПТ мощность уменьшается пропорционально уменьшению скорости вращения ω?

19.Почему не допускается уменьшение магнитного потока в 2-3 раза?

20. Назовите режимы работы машин постоянного тока.

Лабораторная работа 3. (УК-1-З1. УК-1-З2, УК-1-У1, ОПК-3-В1).

1.Устройство статора и ротора АД и принцип его работы.

2. Частота вращения магнитного поля и способы её регулирования. Как влияет на неё частота сети?

3. Что называется скольжением АД? Пояснить соответствующую формулу. Область изменения скольжения асинхронной машины:

а) в двигательном режиме;
б) в режиме электромагнитного торможения;
в) генераторном режиме.

4. Почему в момент пуска ток в двигателе во много раз больше номинального? Какие нежелательные явления возникают в сети при
протекании по ней больших пусковых токов?

5. Проанализировать кривую n(M) и пояснить процесс пуска АД. Указать на графике критический, пусковой и номинальный моменты.

6. Для каких целей в асинхронном электродвигателе с двойной беличьей клеткой наружную клетку выполняют из стержней с малой площадью поперечного сечения?

7. Пояснить способ уменьшения пускового тока двигателя при переключении обмоток статора с «треугольника» на «звезду». Преимущества этого способа, учитывая изменения тока, мощности и момента.

8. Как используются активные и реактивные сопротивления для улучшения пускового режима двигателя?

9. Для каких целей у асинхронного двигателя применяют ротор с глубокими пазами?

10. Как влияет скольжение на ЭДС и частоту тока, потери ротора?

11. Как определить потери в стали при известных: P_{2H}, $P_н$, η_H?

12. Каков физический смысл электрического эквивалента механической нагрузки?

13. Сравните ток Х.Х. АД и трансформатора одинаковой мощности.

14. Пояснить процесс нагрузки АД по его СЛС .

15. Какие преимущества тиристорного индукционно – динамического торможения АД.

16. Координаты характерных точек механической характеристики АД.

17. Определите синхронную и номинальную частоты вращения АД типа 4А180L8У3 при $s_н$=2,5%.

18. Определите частоту тока ротора АД по условиям П.17.

19. Почему в суммарных потерях не учитываем магнитные потери ротора?

20. Как изменится $M_{пуск}$ и ток I_1 при переключении обмоток статора с Δ на Y ?

21. Принципиальная электрическая схема стенда исследования АД.

22. Приведите рабочие характеристики асинхронного двигателя с к.з. ротором.

23. Приведите регулировочные механические характеристики асинхронного двигателя.

24.Устройство и назначение сельсинов.

25. Как получить пусковой момент в однофазном двигателе?

26.Какая величина скольжения АД при торможении противовключением?

27.Как определить электромагнитную мощность АД ?

28.Используя СЛС асинхронного двигателя, объясните процесс нагрузки и саморегулирования.

29.Почему при частотном регулировании частоты вращения АД одновременно с частотой тока необходимо изменять напряжение?

30. Закон полного тока для магнитной цепи АД.

31 Как обеспечить номинальные параметры режима работы АД?

32. На каком участке магнитной цепи АД его МДС наибольшая?

33. Какие бывают типы обмоток статора АД?

34. Какие параметры необходимы для построения развёрнутой схемы трёхфазной двухслойной обмотки статора?

35.Какое влияние обмоточного коэффициента на ЭДС статора?

36.Как определяется шаг обмотки статора?

37.Как защитить АД от аварийных режимов работы?

38. Что определяет магнитная характеристика АД?

39. Как можно увеличить критическое скольжение АД с к.з. ротором?

40. Как переходить из двигательного режима в тормозные режимы работы АД?

41. Какие значения cosf и КПД при холостом ходе асинхронного двигателя?

42. Как определяется величина момента нагрузки АД опытным путем?

43. Определить момент нагрузки для АД с паспортными данными П.17 при частоте вращения 720 об/мин. (считая механическую характеристику на данном участке линейной).

44. Какие условия необходимы для получения в расточке статора кругового вращающегося магнитного поля?

45. Почему регулирование частоты вращения изменением скольжения осуществляется при постоянном моменте нагрузки?

46. Как изменится частота тока ротора при увеличении нагрузки?

Лабораторная работа 4. (УК-1-31,УК-1-З2, УК-1-У1,УК-1-З3, УК-1-З4, ОПК-3-З1, ОПК-3-У1, ОПК-3-В1).

1. Конструктивные особенности СД.

2. Принцип действия СД.

3. Особенности пуска и регулирования СД.

4. Как влияет ток возбуждения СД на *cosφ.*
5. Как зависит электромагнитный момент СД от угла *θ*?
6. Приведите схемы возбуждения СД.
7. В чём отличие СД от синхронного компенсатора?
8. Потери энергии в СД.
9. Явление реакции якоря.
10. Способы повышения *cosφ* в электрических сетях.
11. Конструктивные отличия СД с неявнополюсным индуктором от АД с фазным ротором.
12. Векторные диаграммы СД.
13. Физический смысл коэффициента мощности и способы его повышения.
14. Почему СД нуждается в специальных способах пуска.
15. Преимущества и недостатки СД по сравнению с АД.
16. Способы регулирования скорости СД.
17. Отличие угловых характеристик явно и неявнополюсных СД.
18. Поясните процесс нагрузки и саморегулирования СД с помощью его СЛС
19. Чем определяется мощность СД?
20. Чем определяется угол $\theta_{кр}$? Его физический смысл?
21. Приведите принципиальную электрическую схему включения синхронного двигателя в работу.

Примеры практических заданий (УК-1-З1,УК-1-З2, УК-1-У1,УК-1-З3, УК-1-З4, ОПК-3-З1, ОПК-3-У1, ОПК-3-В1)

Задача 2.1. Для однофазного трансформатора известно: номинальная мощность *S*, кВ·А, номинальное входное напряжение U_1, В, выходное U_2, В. Определить коэффициент трансформации, токи в первичной и вторичной обмотках. Потерями в трансформаторе пренебречь.

вариант	S, кВ·А	U_1,В	U_2,В	вариант	S, кВ·А	U_1,В	U_2,В
1.	0,63	220	12	11.	10	380	230
2.	0,1	380	24	12.	16	660	400
3.	0,16	220	36	13.	25	220	36
4.	0,25	660	42	14.	40	380	230
5.	0,4	660	110	15.	63	660	230
6.	0,63	660	220	16.	100	660	400
7.	1	660	130	17.	160	380	230
8.	0,25	380	110	18.	10	660	400
9.	0,63	380	56	19.	16	380	230
10.	0,16	380	110	20	25	660	230

Задача 2.2. Известно: мощность, потребляемая трансформатором из сети при активной нагрузке, $P_{1,}$, Вт, напряжение сети $U_{1,}$, В, коэффициент трансформации k. Определить ток нагрузки (значения условные).

вариант	$P_{1,}$Вт	U_1,В	k	вариант	$P_{1,}$Вт	U_1,В	k
1.	500	100	10	11.	400	130	5
2.	800	200	8	12.	700	220	4
3.	200	40	5	13.	250	130	3
4.	130	60	4	14.	180	130	4
5.	120	50	5	15.	200	130	5
6.	600	220	6	16.	300	220	6
7.	300	50	7	17.	500	80	3
8.	800	100	8	18.	450	100	7
9.	250	80	4	19.	150	50	4
10.	300	150	5	20	600	200	6

Задача 3.1 Частота вращения ротора асинхронного двигателя *n*, об/мин, частота питающего напряжения *f*=50 Гц. Определить число пар полюсов *p*, скольжение s, и частоту тока в обмотке вращающегося ротора $f_{p.}$

вариант	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10

n, об/мин	570	730	980	1450	2970	1470	970	740	580	2980
вариант	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
n, об/мин	720	960	1480	2990	560	955	590	740	2890	2900

Задача 3.2

Для трехфазного асинхронного двигателя с короткозамкнутым ротором известно: номинальные напряжение $U_{ном}$, мощность $P_{ном}$, скольжение $s_{ном}$,% ; коэффициент перегрузки по моменту λ, отношения $M_п/M_{ном}$, $I_п/I_{ном}$.

Определить потребляемую двигателем мощность, номинальный, максимальный и пусковой моменты; номинальный и пусковой токи; номинальной и критическое скольжение . По формуле Клосса построить механическую характеристику для значений скольжения s = 0; 0,02; 0,04; 0,06; 0,08; $s_{ном}$; $s_{кр.}$

вариант	$U_{ном}$, В	$P_{ном}$, кВт	$s_{ном}$,%	$cos\varphi$	λ	$M_п/M_{ном}$	$I_п/I_{ном}$	η
n_0 = 3000 об/ мин								
1	220	10	2	0,85	2	1,1	5	0,86
2	220	15	2	0,85	2	1,2	7	0,86
3	220	20	2	0,87	2	1,3	5	0,87
4	220	30	3	0,87	2	1,4	6	0,88
5	220	40	3	0,88	2	1,5	6	0,885
6	220	25	3	0,9	2	1,6	6	0,89
7	380	40	4	0,85	2	1,7	6	0,9
8	380	50	4	0,87	2	1,1	7	0,86
9	380	60	4	0,87	2	1,2	7	0,86
10	380	70	5	0,88	2	1,3	7	0,87
n_0 = 1500 об/ мин								
11	380	45	5	0,9	2	1,4	5,5	0,88
12	380	55	5	0,85	2,2	1,5	5,5	0,885
13	380	35	3,5	0,87	2,2	1,6	6,5	0,89
14	380	30	3,5	0,87	2,2	1,7	6,5	0,9
15	220	8	3,5	0,88	2,2	1,1	7	0,86
16	220	6	3,5	0,9	2,2	1,5	7	0,86
17	220	12	2,5	0,9	2,2	1,6	5,5	0,87
18	220	17	2.5	0,9	2,2	1,7	5,5	0,88
19	220	22	2,5	0,85	2,2	1,1	6,5	0,885
20	220	5	2.5	0,85	2,2	1,2	6,5	0,89

Задача4.1 Для МПТ параллельного возбуждения известно: номинальный ток $I_{ном}$, А; коэффициент С = 124; магнитный поток Ф, Вб ; частота вращения якоря n, об/ мин; ток возбуждения $I_в$, А; и сопротивление цепи якоря $R_я$, Ом. Определить напряжение на зажимах машины при работе в режиме генератора и в режиме двигателя.

вариант	$I_{ном}$, А	$I_в$, А	$R_я$, Ом	$\Phi_{max}, Вб$	вариант	$I_{ном}$, А	$I_в$, А	$R_я$, Ом	$\Phi_{max}, Вб$
n = 3000 об/ мин					n = 1000 об/ мин				

1	70	3,5	0,15	0,02	11	85	4	0,3	0,014
2	75	3,5	0,2	0,025	12	90	5	0,32	0,021
3	65	3	0,25	0,018	15	95	5	0,16	0,017
4	60	3	0,3	0,022	14	100	7	0,27	0,02
5	80	4	0,18	0,015	15	70	3	0,2	0,025
n = 1500 об/ мин					n = 750 об/ мин				
6	85	4,5	0,19	0,01	16	100	4	0,18	0,018
7	90	5	0,1	0,012	17	120	4	0,22	0,022
8	95	5	0,125	0,014	18	85	3	0,26	0,015
9	100	5	0,13	0,021	19	160	3	0,135	0,01
10	70	3	0,14	0,017	20	180	4	0,14	0,012

Задача 4.2 Для генератора постоянного тока известно: магнитный поток Ф, Вб, ЭДС якоря $E_я$ =230В, коэффициент С. Определить частоту вращения якоря n, об/ мин.

вариант	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Ф, Вб,	0,03	0,05	0,04	0,015	0,022	0,045	0,035	0,065	0,025	0,055
С	126	134	142	156	160	148	152	128	130	144
вариант	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
Ф, Вб,	0,045	0,035	0,065	0,025	0,055	0,03	0,05	0,04	0,015	0,022
С	146	132	136	138	150	154	158	124	138	148

Задача 5.1 Определить угловую характеристику, статическую перегруженность и угол нагрузки в номинальном режиме синхронного генератора, работающего параллельно с сетью, если известно полное индуктивное сопротивление обмотки якоря $X_с$, Ом, номинальные данные генератора:

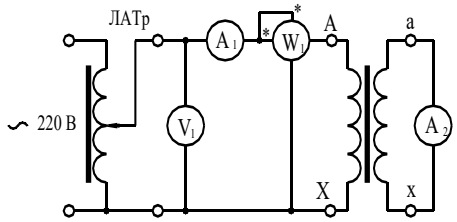
вариант	$S_{ном}$, МВ А	$U_{ном}$, кВ	$I_{в\ ном}^*$	cosφ	$X_с$, Ом
1	9,4	10,5	1,36	0,8	20
2	20	3,15	1,95	0,95	18
3	6,9	6,3	1,2	0,85	17
4	19	10.5	2,3	0,85	16
5	3,75	6,3	2,55	0,9	23
6	9,4	10,5	1,89	0,9	15
7	20	3,15	2,4	0,8	14
8	6,9	6,3	2,35	0,8	22
9	19	10.5	1,4	0,95	16
10	3,75	6,3	0,95	0,85	20
11	9,4	10,5	2,7	0,85	18
12	20	3,15	1,8	0,9	17
13	6,9	6,3	1,2	0,9	16
14	19	10.5	2,9	0,8	23
15	3,75	6,3	1,2	0,8	15
16	9,4	10,5	1,3	0,95	14
17	20	3,15	2,4	0,85	22
18	6,9	6,3	1,9	0,85	16
19	19	10.5	2,2	0,9	20

20	3,75	6,3	1,4	0,9	18

Задача 5.2 По данным задачи 5.1 определить как изменится угол нагрузки, если 1) вращающий момент, приложенный к валу генератора при номинальном токе возбуждения уменьшится в 1,5 раза; 2) при номинальной мощности ток возбуждения увеличить до $I_{в}{}^{*}=1.2I_{в\ ном}{}^{*}$; уменьшить до $I_{в}{}^{*}=0,5I_{в\ ном}{}^{*}$

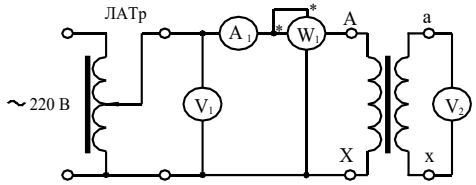
Пример выполняемых заданий на практических занятиях (УК-1-31,УК-1-32, УК-1-У1,УК-1-33, УК-1-34, ОПК-3-31, ОПК-3-У1, ОПК-3-В1)

1.Трансформатор работает в режиме:



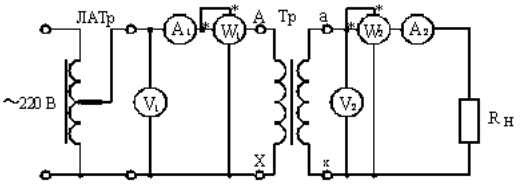
1.холостого хода
2. короткого замыкания
3. режим под нагрузкой
4. номинальный режим

2. Трансформатор работает в режиме:



1.холостого хода
2. короткого замыкания
3. режим под нагрузкой
4. номинальный режим

3. Трансформатор работает в режиме:



1.холостого хода
2. короткого замыкания
3. режим под нагрузкой
4. не достаточно данных

4. При работе трансформатора отсутствуют потери мощности:

1.электрические потери в обмотках
2. механические потери
3.потери в стали на гистерезис и вихревые токи

5.Скольжение АД определяется по формуле (n_0 -скорость вращения магнитного поля, *n* – скорость вращения ротора):

1. $s=\frac{n_0-n}{n}$;
2. $s=\frac{n_0-n}{n_0}$;
3. $s=\frac{n-n_0}{n_0}$
4. $s=\frac{n-n_0}{n_0}$

6. Проводники ротора в виде «беличьей клетки» используются в:

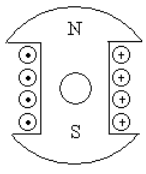
1. ДПТ
2. АД с ФР
3. АД с КЗР
4. СМ

7. В цепь обмотки ротора АД с контактными кольцами вводят добавочное сопротивление при пуске для:

1. уменьшения пускового момента
2. уменьшения пускового тока
3 уменьшения времени разбега
4.увеличения пускового тока

8.В момент пуска асинхронного двигателя скольжение s будет:

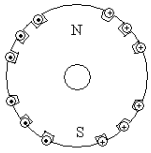
1. $s<0$

	2. $s > 0$ 3. $s = 0$ 4. $s = 1$
9. Пуску асинхронного двигателя с КЗР не соответствует:	1. прямой 2. реостатный 3.при пониженном напряжении
10.Дополнительные полюсы в МПТ служат для:	1. создания главного магнитного потока 2. снижения реакции якоря, 3. регулирования частоты вращения 4. пуска машины
11.Основной магнитный поток в МПТ создается:	1. обмоткой якоря 2. обмоткой возбуждения 3.обмоткой дополнительных полюсов 4. щеточно-коллекторным узлом
12. Частота вращения магнитного поля синхронной машины $n_0 = 1500$ об/мин, тогда частота вращения ротора:	1. $n = 1500$ об/мин; 2. $n = 3000$ об/мин; 3. $n = 750$ об/мин; 4. $n = 1000$ об/мин;
13. Для изменения направления вращения ротора АД необходимо:	1. поменять местами три линейных провода обмотки статора 2. . поменять местами два линейных провода обмотки статора 3. разомкнуть одну из фаз обмотки статора 4. подключить регулировочный реостат
14. Частота вращения магнитного поля синхронной машины $n = 3000$ об/мин. Определить число пар полюсов *p*, если *f* = 50 Гц	1. $p = 1$ 2. $p = 2$ 3. $p = 3$ 4. $p = 4$
15. Частота вращения магнитного поля синхронной машины $n_0 = 3000$ об/мин, тогда частота вращения ротора:	1. $n = 1500$ об/мин; 2. $n = 3000$ об/мин; 3. $n = 750$ об/мин; 4. $n = 1000$ об/мин;
16. на рисунке изображен ротор 	1.КЗР асинхронного двигателя 2.ФР асинхронного двигателя 3. явнополюсный ротор синхронного двигателя 4. неявнополюсный ротор синхронного двигателя
17.Магнитопровод трансформатора делают из изолированных листов (пластин) электротехнической стали для:	1. снижения механических потерь 2. снижения потерь на вихревые токи 3. увеличения магнитной связи между обмотками 4. снижения потерь на нагрев обмоток
18. Частота вращения магнитного поля АД $n_0 = 3000$ об/мин, тогда частота вращения ротора:	1. $n = 1500$ об/мин; 2. $n = 3000$ об/мин;

3. $n = 750$ об/мин;

4. $n = 2980$ об/мин;

19. На рисунке изображен ротор



1.КЗР асинхронного двигателя
2.ФР асинхронного двигателя
3. явнополюсный ротор синхронного двигателя
4. неявнополюсный ротор синхронного двигателя

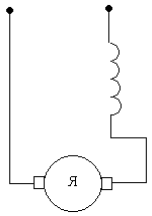
20. Если в трансформаторе $w_1 < w_2$, то он

1. повышающий
2. понижающий
3. приведенный
4. не достаточно данных

21. В МПТ для выпрямления переменной ЭДС служат:

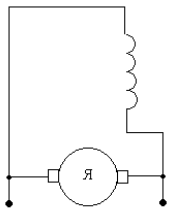
1. главные полюсы
2. дополнительные полюсы
3. щеточно-коллекторный узел
4. обмотка возбуждения

22. На рисунке изображена МПТ



1. независимого возбуждения
2. параллельного возбуждения
3. смешанного возбуждения
4. последовательного возбуждения

23. На рисунке изображена МПТ



1. независимого возбуждения
2. параллельного возбуждения
3. смешанного возбуждения
4. последовательного возбуждения

Пример задания для выполнения курсовой работы

Тема: «Расчёт и выбор силовой части АЭП».

1 Выбор ДПТ НВ

По заданным значениям моментов и времени и с учетом изменения нагрузки, показанной на заданной диаграмме построить временную диаграмму моментов для заданного механизма. Определить, какие моменты на данной диаграмме являются не изменяющимися за соответствующие промежутки времени, а какие меняют свое значение.

Определить продолжительность включения по формуле (1) и по результату указать режим работы, например, S_1.

$$ПВ = \frac{\sum t_{раб}}{T_{цикла}} * 100\%; \quad (1)$$

Определить эквивалентный момент по формуле (2).

$$M_{экв} = \sqrt{\frac{\sum (M^2{}_i * t_i)}{\sum t_{раб} + \alpha * \sum t_{пауз}}} \text{ Н*м}; \quad (2)$$

где M_i, Нм - момент в определенный промежуток времени; t_i,с - продолжительность данного промежутка времени; $\Sigma t_{раб}$, с - суммарное время работы двигателя; $\Sigma t_{пауз}$, с - суммарное время пауз в работе; α - коэффициент, учитывающий

продолжительность включения двигателя.

Коэффициент α выбирается из таблицы 1.

Таблица 1

ПВ	15	25	40	60	75
α	0,2	0,4	0,6	0,8	0,9

Найти необходимую эквивалентную мощность в Вт, исходя из значений эквивалентного момента и заданной скорости вращения якоря $n_{зад,}$ по формуле (3).

$$P_э = M_э \cdot \frac{\pi \cdot n}{30}, \text{ Вт} \qquad (3)$$

Искомую номинальную мощность двигателя в кВт принять, с учётом коэффициентов запаса, равной (формула (4):

$$P_{ном}=(1,1 - 1,3)\cdot P_{Э,} \text{ кВт} \qquad (4)$$

Определить способ соединения ОЯ и ОВ и отобразить его графически.

Используя источник информации, ссылка на который обязательна, выбрать электродвигатель постоянного тока и обозначить его основные технические характеристики (тип, номинальную мощность $P_Н$, кВт, номинальную скорость вращения $n_{ном}$, об/мин, максимальную скорость вращения $n_{max,}$ об/мин; сопротивление обмотки якоря $R_а$, А и обмотки возбуждения $R_в$, А; номинальный ток двигателя $I_{ном}$, А; напряжение U,В, КПД, %,).

После выбора двигателя и определения всех его номинальных данных необходимо построить естественную механическую характеристику выбранного двигателя (прямая 1 на рис.2).

Так как она прямолинейна, то для её построения достаточно найти две точки с координатами $\{M_{ном;}\, n_{ном}\}$ и $\{M_{min;}\, n_{max}\}$, используя формулы (5 – 8).

$$\omega_{ном} = \frac{\pi n_{ном}}{30}; \quad \text{сек}^{-1} \qquad (5)$$

$$M_{ном} = \frac{P_{ном}}{\omega_{ном}}; \quad \text{Нм} \qquad (6)$$

$$\omega_{\max} = \frac{\pi n_{\max}}{30}; \quad \text{сек}^{-1} \qquad (7)$$

$$M_{\min} = \frac{P_{ном}}{\omega_{\max}}; \quad \text{Нм} \qquad (8)$$

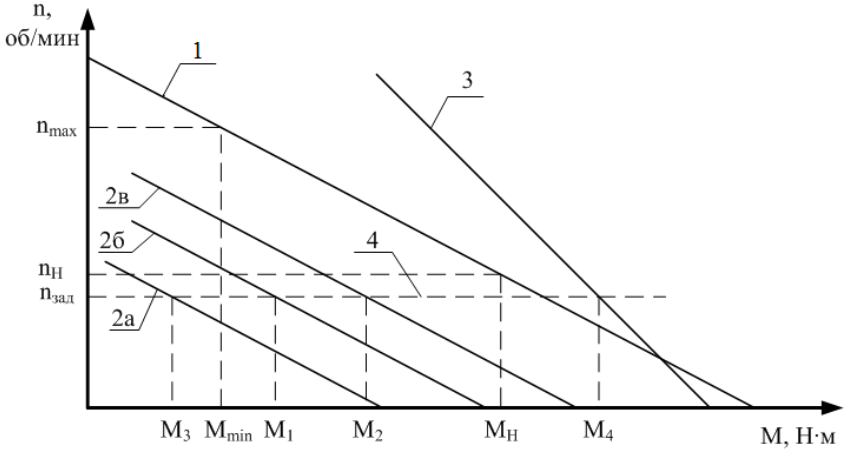


Рис.2 - Естественная и искусственные механические характеристики ДПТ

Для определения требуемой зонности регулирования необходимо провести прямую, соответствующую заданной скорости вращения вала двигателя (прямая 4 на рис.2), и отметить на ней заданные в условии моменты. Затем необходимо выбрать и обосновать способы регулирования скорости вращения вала двигателя. В первой зоне регулирования, характеристики, при уменьшении напряжения на якоре, сохраняют свою жесткость, т.к. согласно формуле (9) скорость холостого хода n_0 при этом снижается, а приращение скорости Δn остаётся неизменным.

$$n = n_0 - \Delta n, \text{об/мин}$$

или

$$n = \frac{U_a}{c\Phi} - \frac{\Sigma R_a M_2}{c\Phi^2}, \text{ об/мин} \qquad (9)$$

где: U_a,В – напряжение на якоре; с – безразмерный конструктивный коэффициент; Ф, Веб – суммарный магнитный поток машины; ΣR_a, Ом – суммарное сопротивление цепи якоря; M_2, Нм – момент на валу. Следовательно, для построения искусственных характеристик в этом случае достаточно через требуемые точки провести прямые, параллельные естественной (прямые 2а, 2б и 2в на рис. 2). Во второй зоне регулирование осуществляется за счет ослабления магнитного потока, создаваемого обмоткой возбуждения. Т.к. согласно формуле 1.9 и скорость холостого хода n_0, и приращение скорости Δn при этом увеличиваются, то жёсткость искусственных характеристик падает. Характеристики прямолинейны, но не параллельны естественной характеристике.Для построения искусственной характеристики во второй зоне (прямая 3 на рис.2), учитывая, что Р равна const по всей характеристике, вначале нужно определить его значение по формуле (10), используя соответствующие координаты.

$$P' = M_1 \cdot \frac{\pi \cdot n_{зад}}{30}, \text{ Вт} \qquad (10)$$

Затем, задавая произвольное, но близкое к нулю, значение момента, найти еще одну точку с координатами $\{M'; n'\}$, рассчитав значение скорости по формуле (11).

$$n' = \frac{30 \cdot P'}{M' \cdot \pi}, \text{ об/мин} \qquad (11)$$

2. Выбор тиристорного преобразователя

Использование тиристорного преобразователя (ТП) является одним из самых современных способов создания быстродействующего регулируемого электропривода постоянного тока.

Реверсивным тиристорным преобразователем (РТП) называется преобразователь, через который ток может протекать в обоих направлениях. Поскольку тиристоры пропускают ток только в одном направлении, то для изменения направления тока нагрузки необходимо использовать две группы вентилей, каждая из которых проводит ток в своем направлении. Эти группы вентилей чаще всего собираются по трехфазной мостовой или трехфазной нулевой схеме.

Для управления ТП в настоящее время применяют главным образом безинерционные системы импульсно-фазового управления (СИФУ) с пилообразным или синусоидальным опорным напряжением. Достоинством синусоидальной формы опорного напряжения является линейность результирующей характеристики ТП. Однако диапазон регулирования угла åå составляет менее 180^O, и сохранение строго синусоидальной формы опорного напряжения представляет значительные трудности. Поэтому чаще в ТП применяется пилообразное опорное напряжение.

Для выбора ТП необходимо знать значения тока и напряжения в цепи якоря и в цепи возбуждения электродвигателя.

Рассчитать ток в цепи якоря по формуле (12)

$$I_a = \frac{P_{ном}}{\eta \cdot U_{ном}}, \text{ А} \quad (12)$$

Рассчитать ток в цепи обмотки возбуждения по формуле (13)

$$I_B = \frac{U_B}{R_{ОВ}}, \text{ А} \quad (13)$$

В цепь якоря подбирают РТП, т.к. в процессе регулирования необходимо менять направление вращения вала, в цепь обмотки возбуждения – нереверсивный ТП.

Следует иметь в виду, что в некоторых случаях тиристорный агрегат может включать в себя оба преобразователя.

По каталогам известных фирм-производителей (ссылка на источник информации обязательна) выбрать РТП, исходя из условий (формулы (14), (15), и нереверсивный ТП – из условий (формулы (16), (17):

$$I_{ТП} > I_a \quad (14)$$

$$U_{ТП} > U_{ном} \quad (15)$$

$$I_{ТП} > I_B \quad (16)$$

$$U_{ТП} > U_{В} \quad (17)$$

Аргументировать свой выбор, отобразить, по возможности, внешний вид выбранных ТП, обозначить их основные технические характеристики и функциональные возможности.

Указать, какие задачи управления электродвигателем реализуют данные тиристорные преобразователи.

Привести схемы подключения ТП к обмоткам электродвигателя, описать особенности работы данных схем.

3 Выбор асинхронного двигателя

Для выбора двигателя с мощностью, соответствующей заданной нагрузке, возможно использовать несколько методов. В данном случае предлагается использовать метод эквивалентных моментов.

По заданным значениям моментов и времени и с учетом изменения нагрузки, показанной на заданной диаграмме построить временную диаграмму моментов для заданного механизма. Определить, какие моменты на данной диаграмме являются не изменяющимися за соответствующие промежутки времени, а какие меняют свое значение.

Определить продолжительность включения по формуле (18) и по результату указать режим работы, например, S_1.

$$ПВ = \frac{\sum t_{раб}}{T_{цикла}} * 100\%; \quad (18)$$

где: $\Sigma t_{раб.}$, с – сумма рабочих времен; $T_{цикла}$, с – время цикла работы механизма.

Определить эквивалентный момент по формуле (19).

$$M_{экв} = \sqrt{\frac{\sum (M^2_i * t_i)}{\sum t_{раб} + \alpha * \sum t_{пауз}}} \text{ Н*м}, \quad (19)$$

где M_i, Нм - момент в определенный промежуток времени; t_i, с - продолжительность данного промежутка времени; $\Sigma t_{раб}$, с - суммарное время работы двигателя; $\Sigma t_{пауз}$, с - суммарное время пауз в работе; α - коэффициент, учитывающий продолжительность включения двигателя.

Коэффициент α нужно выбрать из таблицы 2.

Таблица 2

ПВ	15	25	40	60	75
α	0,2	0,4	0,6	0,8	0,9

Найти необходимую эквивалентную мощность в Вт, исходя из эквивалентного момента и заданной скорости вращения якоря n_2 по формуле (20)

$$P_э = M_э \frac{\pi \cdot n_2}{30}, \text{ Вт} \quad (20)$$

Определить заданное скольжение, используя формулу (21)

$$s_{зад} = \frac{n_1 - n_2}{n_1} \cdot 100\%, \quad (21)$$

где: n_1,об/мин – синхронная скорость; n_2,об/мин – заданная скорость вращения ротора.

Искомую номинальную мощность двигателя в кВт вычислить с учётом коэффициентов запаса по формуле (22)

$$P_{ном} = (1{,}1\text{-}1{,}3) \cdot P_{Э,} \text{ кВт} \quad (22)$$

Из полученного интервала мощностей (результат из формулы (22) и синхронной скорости n_1, об/мин выбрать электродвигатель переменного тока, указать его основные технические характеристики и пусковые свойства (тип АДК, $P_{ном}$,кВт; $n_{ном}$,об/мин или n_1,об/мин; U,В; КПД, %; $\cos\varphi$; $S_к$,%; $S_{ном}$, %; $m_п$; m_m ; m_k ; $i_п$). Ссылка на источник информации обязательна.

Охарактеризовать выбранный электродвигатель.

Построить естественную характеристику (см. рис. 3), используя формулы 24 -28: [1]

$$M_i = \frac{2M_{max}}{\frac{s_k}{s_i} + \frac{s_i}{s_k}}, \quad (23)$$

где: M_i, Нм – текущий момент на валу двигателя; M_{max}, Нм – максимальный (критический) момент, развиваемый данным двигателем; s_i, % – скольжение, соответствующее текущему моменту; s_k, % – критическое скольжение.

$$M_{max} = m_k \cdot M_{ном}, \text{ Нм} \quad (24)$$

$$M_{ном} = \frac{P_{ном}}{\omega_{ном}}, \text{ Нм} \quad (25)$$

$$\omega_{ном} = \frac{\pi n_{ном}}{30}, \text{ с}^{-1} \quad (26)$$

$$M_{т.доп} = m_m \cdot M_{ном}, \text{ Нм} \quad (27)$$

$$M_п = m_п \cdot M_{ном}, \text{ Нм} \quad (28)$$

где: $M_п$,Нм – пусковой момент выбранного двигателя; $M_{т.доп.}$,Нм – максимально допустимый при запуске двигателя момент (он может быть равен номинальному, но всегда меньше критического); M_{max},Нм - критический момент или максимальный момент, развиваемый двигателем.

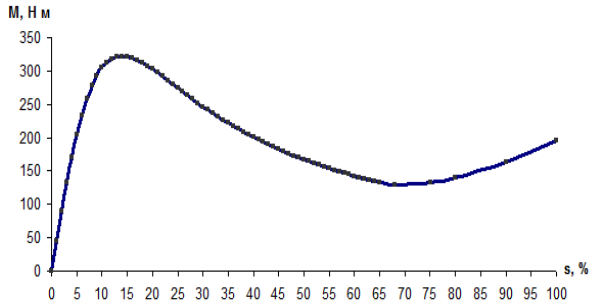


Рис. 2. Естественная механическая характеристика АД

[1] Для построения характеристики в пакете MahtLab целесообразно заменить в формуле 2.6 M_i на f(x), а s_i на x.

Для определения требуемой зонности регулирования, вынести в большем масштабе рабочую часть естественной характеристики на отдельный график (прямая 1 на рис. 2.3), затем провести прямую, соответствующую заданному скольжению (прямая 5), на которой отметить заданные в условии моменты.

Для построения искусственных характеристик необходимо через полученные на прямой 5 точки провести прямые, параллельные естественной характеристике. В зависимости от того, как будут расположены искусственные характеристики на графике, определить зонность регулирования и выбрать способ регулирования скорости электродвигателя, наиболее целесообразный в данном случае.

1)

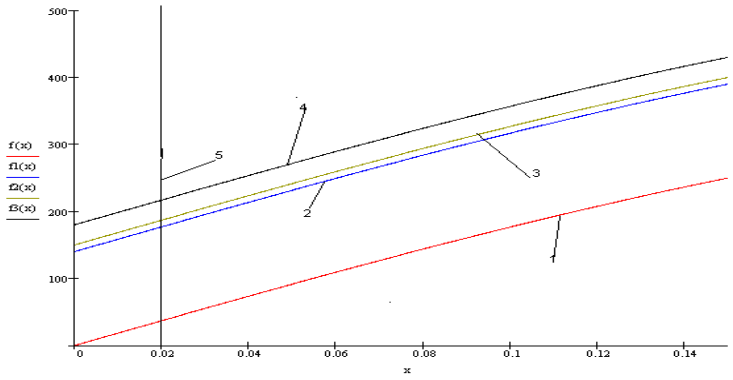


Рис. 3 Естественная и искусственные механические характеристики АДК

Рабочие части искусственных характеристик – прямолинейны, т.к. частотное регулирование, не зависимо от способа регулирования, позволяет сохранить жёсткость рабочей части искусственных механических характеристик.

Для выбора способа регулирования во второй зоне необходимо определить величину превышения напряжения на искусственной характеристике, соответствующей максимальному моменту.

Учитывая, что отношения амплитуд и частот на разных характеристиках приблизительно равны, воспользуемся отношением (формула (29)

$$U_{max} = U_{ном} \frac{f_{max}}{f_{ном}} \text{, В} \qquad (29),$$

где: U_{max}, В – максимальная требуемая амплитуда напряжения; $U_{ном}$, В – номинальное значение напряжения питающей сети; f_{max}, Гц –максимальная выходная частота; $f_{ном}$, Гц – частота питающей сети.

Определяем, удовлетворяется ли условие

$$U_{max\,доп} \le 1{,}005 U_{ном}.$$

В зависимости от выполнения данного условия выбирается соответствующий закон частотного регулирования или, другими словами, выбирается соотношение между амплитудой и частотой выходного напряжения.

4. Выбор частотного преобразователя

При выборе ПЧ необходимо учитывать мощность двигателя, а также максимальную и минимальную частоты вращения ротора для выбранного способа регулирования.

Мощность частотного преобразователя должна быть равна или больше мощности электродвигателя, а напряжение частотного преобразователя должно соответствовать номинальному напряжению электродвигателя.

Для определения максимальной частоты, которую должен обеспечить на выходе частотный преобразователь, необходимо определить во сколько раз изменится скорость для максимального момента искусственной характеристики по сравнению со скоростью для такого же момента на естественной.

По формуле (30) следует определить скорость вращения ротора электродвигателя:

$$n_{2\,ест.} = (1 - s_2) \cdot n_{ном} \text{, об/мин} \qquad (30)$$

где S_2 - величина скольжения (отн. ед.) на естественной характеристике, соответствующая значению максимального момента для заданной скорости на искусственной характеристике.

Соответственно, при скольжении S_2, скорость ротора равна $n_{2\,ест.}$.

По формуле (31) вычислить, во сколько раз увеличилась скорость ротора для искусственной характеристики:

$$k = \frac{n_2}{n_{2\ ест.}} \qquad (31)$$

Так как скорость вращения ротора прямо пропорциональна частоте питающей сети, то вычислить, как увеличилась частота питающей сети, можно, воспользовавшись формулой (32):

$$f' = f_{сети} \cdot k \text{, Гц} \qquad (32)$$

Если полученная частота не удовлетворяет условию $f' \le 70\ Гц$, то потери на намагничивание статора будут значительно сокращать срок службы двигателя.

Для определения минимальной частоты, которую должен обеспечить на выходе частотный преобразователь, необходимо определить во сколько раз изменится скорость для минимального момента искусственной характеристики по сравнению со скоростью для такого же момента на естественной (на естественной характеристике двигатель работает при частоте питающей сети, равной 50Гц).

Вычислить, во сколько раз уменьшилась скорость ротора для искусственной характеристики:

$$k_1 = \frac{n_1}{n_2} \qquad (33)$$

Вычислить, как уменьшилась частота питающей сети (формула 2.16):

$$f_1' = \frac{f_{сети}}{k} \text{, Гц} \qquad (34)$$

Если полученная частота не удовлетворяет условию $f_1' \ge 20\ Гц$, то потери на нагрев обмоток ротора будут значительно сокращать срок

По каталогам известных фирм-производителей выбрать частотный преобразователь, исходя из следующих

условий:
- мощность преобразователя:

$$P \geq 1{,}8 \cdot P_{ном.дв.};\text{кВт} \qquad (34)$$

- полученный диапазон регулируемых частот;
- заданное напряжение;
- номинальный ток:

$$I_{ном} = \frac{P_{ном.дв.}}{U_{ном.дв.} \cdot \sqrt{3} \cdot \eta_{дв.} \cdot \cos\varphi}, \text{А} \qquad (35)$$

Указать фирму-производителя (ссылка на источник информации обязательна), аргументировать свой выбор, привести технические характеристики выбранного преобразователя частоты. Указать способ регулирования для проектируемого привода.

5.Выбор комплектного АЭП

Выбор комплектного автоматизированного электропривода, состоящего из асинхронного двигателя и преобразователя частоты, осуществить по данным, полученным в предыдущем разделе:

- требуемая мощность двигателя;
- частота питающего напряжения;
- синхронная скорость;
- максимальная и минимальная частоты вращения ротора для выбранного способа регулирования;
- мощность преобразователя:

$$P \geq 1{,}8 \cdot P_{ном.дв.}; \text{кВт} \qquad (36)$$

- полученный диапазон регулируемых частот выходного напряжения;
- заданное напряжение;
- номинальный ток:

$$I_{ном} = \frac{P_{ном.дв.}}{U_{ном.дв.} \cdot \sqrt{3} \cdot \eta_{дв.} \cdot \cos\varphi}, \text{А} \qquad (37)$$

- требуемые защиты.

Указать фирму-производителя (ссылка на источник информации обязательна) и тип выбранного комплектного АЭП с указанием типа и технических данных входящих в него АДК и ПЧ, отобразить внешний вид электродвигателя и/или частотного преобразователя или функциональную схему частотного преобразователя.

Аргументировать свой выбор, обозначить основные технические характеристики электропривода, достоинства и функциональные возможности.

6.Выбор синхронного двигателя

Алгоритм выбора СД аналогичен алгоритму выбора АДК (см.раздел 4).

Из полученного интервала мощностей и заданной синхронной скорости n_1,об/мин по справочнику выбрать синхронный электродвигатель, указать его основные технические характеристики и пусковые свойства (ссылка на источник информации обязательна).

Охарактеризовать выбранный электродвигатель.

7 Выбор вентильного двигателя

Алгоритм выбора СД аналогичен алгоритму выбора АДК (см.раздел 4). Охарактеризовать выбранный электродвигатель ((ссылка на источник информации обязательна).

При выборе ВД необходимо определить тип датчика положения ротора, выбрать его и описать.

Требования к оформлению курсовой работы

Курсовая работа оформляется в соответствии с [Л.3.3]

5.3. Оценочные материалы, используемые для экзамена (описание билетов, тестов и т.п.)

Экзамен не предусмотрен

5.4. Методика оценки освоения дисциплины

Формой промежуточной аттестации является зачёт в 4 семестре и курсовая работа в 5 семестре.

Промежуточная аттестация проводится по результатам текущего контроля (выполнения и защиты лабораторных работ, практических заданий и практических заданий обучающимися).

Оценка «зачтено» выставляется в случае, если обучающийся имеет оценку «зачтено» по всем видам текущего контроля.

Оценка «не зачтено» выставляется в случае, если обучающийся имеет оценку «не зачтено» по одному виду текущего контроля.

Критерии оценивания выполнения и защиты лабораторных работ:

«Зачтено»

Лабораторная работа выполнена; отчёт по работе оформлен в соответствии предъявляемым требованиям; при ответе на вопросы по теме лабораторной работы студент демонстрирует знание основных теоретических положений работы и умение их применять на практике.

«Не зачтено»

Лабораторная работа не выполнена, либо отчёт по работе отсутствует или его оформление не соответствует предъявляемым требованиям, либо при ответе на вопросы по теме лабораторной работы студент демонстрирует незнание основных теоретических положений работы и неумение их применять на практике.

Оценивание выполнения и защиты курсовой работы

«Отлично»	«Хорошо»	«Удовлетворительно»	«Неудовлетворительно»
Курсовая работа выполнена в полном объеме; пояснительная записка оформлена в полном соответствии с предъявляемыми требованиями; расчеты выполнены без ошибок. При ответе на вопросы по теме курсовой работы обучающийся демонстрирует глубокое знание основных теоретических положений работы и умение применять их на практике.	Курсовая работа в целом выполнена правильно, расчеты содержат непринципиальные ошибки. Пояснительная записка оформлена в основном в соответствии с предъявляемыми требованиями. При ответе на вопросы по теме курсовой работы обучающийся демонстрирует знание основных теоретических положений работы и умение применять их на практике.	Курсовая работа в основной части выполнена; Пояснительная записка оформлена с некоторыми отступлениями от предъявляемых требований; при ответе на вопросы по теме курсовой работы обучающийся дает в основном правильные, но неполные ответы. В расчетах были допущены ошибки, исправленные после замечаний преподавателя	Курсовая работа не выполнена, либо Пояснительная записка отсутствует или её оформление не соответствует предъявляемым требованиям, либо при ответе на вопросы по теме курсовой работы студент демонстрирует отсутствие знания основных теоретических положений работы и не умение их применять на практике

Порядок, определяющий процедуры оценивания знаний, умений, навыков и (или) опыта деятельности, характеризующих уровень сформированности компетенций, определен в Положении «О текущем контроле успеваемости и промежуточной аттестации обучающихся, текущем контроле посещения обучающимися аудиторных занятий в НИТУ «МИСиС» П 239.09-18, выпуск 2».

6. УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКОЕ И ИНФОРМАЦИОННОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ

6.1. Рекомендуемая литература

6.1.1. Основная литература

Обозначение	Авторы, составители	Заглавие	Библиотека	Издательство, год
Л 1.1	Жуловян В.В.	Электрические машины: электромеханическое преобразование энергии: Учебное пособие для вузов	ЭБС ЮРАЙТ URL: https://urait.ru/book/elektricheskie-mashiny-elektromehanicheskoe-preobrazovanie-energii-453145	Москва : Издательство Юрайт, 2020.
Л 1.2	Копылов, И. П.	Проектирование электрических машин в 2 ч. Часть 1 : учебник для академического бакалавриата	ЭБС ЮРАЙТ URL: https://urait.ru/bcode/426171	Москва : Издательство Юрайт, 2018
Л 1.3	Копылов, И. П.	Проектирование электрических машин в 2 ч. Часть 2 : учебник для академического бакалавриата	ЭБС ЮРАЙТ URL: https://urait.ru/bcode/426170	Москва : Издательство Юрайт, 2018.

6.1.2. Дополнительная литература

Обозначение	Авторы, составители	Заглавие	Библиотека	Издательство, год
Л 2.1	Копылов,	Электрические	ЭБС ЮРАЙТ	Москва : Издательство Юрайт,

	И. П.	машины в 2 т. Том 1 : учебник для вузов	URL: https://urait.ru/bcode/451783	2020.
Л 2.2	Копылов, И. П.	Электрические машины в 2 т. Том 2 : учебник для вузов	ЭБС ЮРАЙТ URL: https://urait.ru/bcode/451784	Москва : Издательство Юрайт, 2020.
Л 2.3	Тюков, В.А.	Электромеханические системы : учебное пособие	ЭБС «Университетская библиотека онлайн» URL: http://biblioclub.ru/index.php?page=book&id=438454	Новосибирск : Новосибирский государственный технический университет, 2015.
6.1.3. Методические разработки				
Обозначение	Авторы, составители	Заглавие	Библиотека	Издательство, год
Л 3.1	Моторина Н.П..	Методические указания по самостоятельному выполнению курсовой работы по дисциплине «Электрические машины» для студентов напр. 13.03.02	URL: **https://newlms.misis.ru**	
Л 3.2	Моторина Н.П.	Метод. указания к вып. лабораторных работ по дисциплине «Электрические машины» для студентов напр. 13.03.02	URL: **https://newlms.misis.ru**	
Л.3.3	Гамбург К.С.	МЕТОДИЧЕСКИЕ РЕКОМЕНДАЦИИ ПО ОФОРМЛЕНИЮ ДОМАШНИХ ЗАДАНИЙ, КУРСОВЫХ РАБОТ/ПРОЕКТОВ И ВЫПУСКНОЙ КВАЛИФИКАЦИОННОЙ РАБОТЫ	НТБ СТИ НИТУ «МИСИС»	Старый Оскол: СТИ НИТУ «МИСиС», 2020.
6.2. Перечень ресурсов информационно-телекоммуникационной сети «Интернет»				
Э 1	Бесплатная электронная библиотека онлайн «Единое окно к образовательным ресурсам» [Электронный ресурс]: http://window.edu.ru			
Э 2	LMS Moodle [Электронный ресурс]: https://newlms.misis.ru			
6.3. Перечень программного обеспечения				
П 1	Microsoft Windows			
П 2	Microsoft Office			
П 3	7- Zip (свободно распространяемое программное обеспечение)			
П 4	Kaspersky Endpoint Security			
П5	PTC Mathcad Express (свободно распространяемое программное обеспечение)			
6.4. Перечень информационных справочных систем и профессиональных баз данных				
И 1	Министерство энергетики РФ [Электронный ресурс]: minenergo.gov.ru/			
И 2	eLIBRARY.RU - НАУЧНАЯ ЭЛЕКТРОННАЯ БИБЛИОТЕКА [Электронный ресурс]: https://elibrary.ru/			

7. МАТЕРИАЛЬНО-ТЕХНИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ	
7.1	**Аудитория №520** **«Лаборатория электропривода и электрических машин»** Перечень основного оборудования, учебно-наглядных пособий: Экран настенный; Лабораторный стенд «Электропривод» - 5 шт.; Лабораторный стенд «Электрические машины» - 5 шт.; Комплект учебной мебели на 25 посадочных мест.
7.2	**Аудитория № 306** **«Кабинет для самостоятельной работы»** Перечень основного оборудования, учебно-наглядных пособий: проектор; доска; экран настенный; компьютер – 6 шт.; комплект учебной мебели на 20 человек. В помещении для самостоятельной работы обучающихся имеется подключение к сети «Интернет» и доступ в электронную информационно-образовательную среду организации.

8. МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ ДЛЯ ОБУЧАЮЩИХСЯ ПО ИЗУЧЕНИЮ ДИСЦИПЛИНЫ
Промежуточная аттестация по дисциплине предусмотрена в виде зачета и курсовой работы. Обучение проводится в два семестра и организуется в соответствии с настоящей программой. Самостоятельная работа студентов осуществляется и контролируется с помощью: - оформления пояснительной записки по курсовой работе, - вопросов для самоконтроля при защите курсовой работы, – вопросов для защиты лабораторных работ, – требований к оформлению отчётов по лабораторным работам. Зачет проставляется при условии выполнения учебного плана дисциплины, по результатам выполнения и защиты лабораторных работ и практических заданий.