

МИНОБРНАУКИ РОССИИ
ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ
ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
**«БЕЛГОРОДСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ
ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ им. В.Г.ШУХОВА»**
(БГТУ им. В.Г. Шухова)

УТВЕРЖДАЮ

Директор института энергетики, информационных
технологий и управляющих систем

канд. техн. наук, доцент **А. В. Белоусов**

« 28 » апреля 2022 г.



РАБОЧАЯ ПРОГРАММА
дисциплины

ЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ МАШИНЫ

направление подготовки

13.03.02 Электроэнергетика и электротехника

профиль подготовки

Электроснабжение

Квалификация

бакалавр

Форма обучения

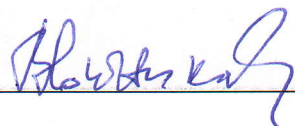
очная

Институт энергетики, информационных технологий и управляющих систем
Кафедра электроэнергетики и автоматики

Белгород – 2022

Рабочая программа составлена на основании требований:

- Федерального государственного образовательного стандарта высшего образования по направлению подготовки 13.03.02 «Электроэнергетика и электротехника» (уровень бакалавриата), утвержденного приказом Министерства образования и науки Российской Федерации № 144 от 28 февраля 2018 г.;
- учебного плана, утвержденного ученым советом БГТУ им. В. Г. Шухова в 2022 году.

Составитель: д-р техн. наук  (В. В. Сотников)

Рабочая программа обсуждена на заседании кафедры электроэнергетики и автоматике

« 26 » апреля 2022 г., протокол № 9

Заведующий кафедрой: канд. техн. наук, доцент  (А. В. Белоусов)

Рабочая программа согласована с выпускающей кафедрой электроэнергетики и автоматике

Заведующий кафедрой: канд. техн. наук, доцент  (А. В. Белоусов)

« 26 » апреля 2022 г.

Рабочая программа одобрена методической комиссией института энергетики, информационных технологий и управляющих систем

« 28 » апреля 2022 г., протокол № 8

Председатель: канд. техн. наук, доцент  (А. Н. Семернин)

1. ПЛАНИРУЕМЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ ОБУЧЕНИЯ ПО ДИСЦИПЛИНЕ

Категория (группа) компетенций	Код и наименование компетенции	Код и наименование индикатора достижения компетенции	Наименование показателя оценивания результата обучения по дисциплине
Теоретическая и практическая профессиональная подготовка	ОПК-4 Способен использовать методы анализа и моделирования электрических цепей и электрических машин	ОПК-4.6. Анализирует установившиеся режимы работы трансформаторов и асинхронных двигателей, использует знание их режимов работы и характеристик	Знания назначения, устройства, схем соединения обмоток трансформаторов и асинхронных двигателей, протекающих в них физических процессов; основ теории и рабочих характеристик; Умение: составлять электрические схемы трансформаторов и асинхронных двигателей; записывать уравнения электрического и магнитного равновесия; анализировать результаты исследования рабочих режимов; Навыки проведения испытаний трансформаторов и асинхронных двигателей в соответствии с заданной программой и обработки данных, расчета параметров их рабочих режимов.
		ОПК-4.7. Анализирует установившиеся режимы работы синхронных машин и машин постоянного тока, использует знание их режимов работы и характеристик.	Знания назначения, устройства, схем соединения обмоток синхронных машин и машин постоянного тока, протекающих в них физических процессов; основ теории и рабочих характеристик; Умение: составлять электрические схемы синхронных машин и машин постоянного тока; записывать уравнения электрического; анализировать результаты исследования рабочих режимов; Навыки проведения испытаний синхронных машин и машин постоянного тока в соответствии с заданной программой и обработки данных, расчета параметров их рабочих режимов.

2. МЕСТО ДИСЦИПЛИНЫ В СТРУКТУРЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЙ ПРОГРАММЫ

Компетенция ОПК-4: Способен использовать методы анализа и моделирования электрических цепей и электрических машин

Стадия	Наименование дисциплины
1	Теоретические основы электротехники
2	Промышленная электроника
4	Электрические и электронные аппараты
5	Подготовка к процедуре защиты и защита выпускной квалификационной работы

3. ОБЪЕМ ДИСЦИПЛИНЫ

Общая трудоемкость дисциплины составляет 9 зач. единиц, 324 часа.

Форма промежуточной аттестации: экзамен, зачет

Вид учебной работы	Всего часов	Семестр № 3	Семестр № 4
Общая трудоемкость дисциплины, час	324	162	126
Контактная работа (аудитор. занятия), в т.ч.:	126	73	53
лекции	51	34	17
лабораторные	34	17	17
практические	34	17	17
групповые консультации в период теоретического обучения и промежуточной аттестации	7	5	2
Самостоятельная работа студентов, в т.ч.:	198	120	78
курсовой проект			
курсовая работа	36		36
расчетно-графическое задание	18	18	
Самостоятельная работа на подготовку к аудиторным занятиям (лекции, практические занятия, лабораторные занятия)	108	66	42
Форма промежуточной аттестации (зачет, экзамен)	36	Экзамен (36)	Зачет

4. СОДЕРЖАНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ

4.1. Наименование тем, их содержание и объем

Курс 2 Семестр № 3

№ п/п	Наименование раздела (краткое содержание)	Объем на тематический раздел по видам учебной нагрузки, час			
		Лекции	Практические занятия	Лабораторные занятия	Самостоятельная работа
1. Трансформаторы					
1.1	Предмет, структура курса «Электромеханика» и основные задачи его изучения. Роль электрических машин и трансформаторов в производстве и преобразовании электрической энергии.	1	1		1
1.2	Устройство трансформатора. Конструкции магнитопроводов и обмоток. Электротехнические материалы. Конструкции баков, способы охлаждения, арматура. Схемы и группы соединения обмоток трехфазного трансформатора. Принцип действия. ЭДС обмоток. Уравнения электрического равновесия обмоток. Соотношения между ЭДС и напряжениями. Коэффициент трансформации. Уравнение равновесия МДС первичной и вторичной обмоток и соотношения между их токами.	3	1	6	12

1.3	<p>Описание электромагнитных процессов в реальном трансформаторе. Магнитное поле под нагрузкой и его разложение на составляющие. Индуктивные сопротивления рассеяния обмоток. Уравнения электрического равновесия обмоток. Уравнение равновесия МДС первичной и вторичной обмоток. Зависимость намагничивающего тока от качества магнитопровода.</p> <p>Понятие о приведенном трансформаторе. Приведение значений вторичных величин к числу витков первичной обмотки. Уравнения приведенного трансформатора. Т-образная схема замещения и физический смысл ее параметров. Г-образная и упрощенная схемы замещения. «Сквозное» уравнение и упрощенная векторная диаграмма.</p>	4	1	–	4
1.4	<p>Испытание трансформатора и определение его параметров и характеристик. Опыты холостого хода (ХХ) и короткого замыкания (КЗ). Номинальное напряжение короткого замыкания. Определение параметров схемы замещения. Виды потерь электрической энергии в трансформаторах. КПД трансформатора и его зависимость от нагрузки.</p> <p>Изменение вторичного напряжения трансформатора при нагрузке и его регулирование. Внешняя характеристика.</p> <p>Регулирование напряжения в силовых трансформаторах. Устройства регулирования без возбуждения (ПБВ) и под нагрузкой (РПН)</p>	2	3	4	9
1.5	<p>Параллельная работа трансформаторов. Схема замещения трансформатора относительно вторичных зажимов в виде активного двухполюсника. Условие отсутствия уравнивающих токов при параллельной работе. Параллельная работа при неодинаковых напряжениях КЗ. Оптимальные условия включения на параллельную работу.</p>	1	2		4
1.6	<p>Работа трехфазного трансформатора при несимметричной нагрузке.</p> <p>Несимметричная нагрузка при схеме соединения Y/Y_n.</p> <p>Несимметричная нагрузка при схеме соединения Y/Z_n.</p> <p>Несимметричная нагрузка при схемах соединения Δ/Y_n и Y_n/Y_n.</p> <p>Несимметричная нагрузка при схемах соединения Y/Y, Y/Δ, Δ/Y и Δ/Δ</p>	2			2
1.7	<p>Трехобмоточные трансформаторы. Область применения. Основные уравнения и схема замещения. Работа трехобмоточного трансформатора под нагрузкой. Трансформаторы с расщепленной обмоткой: конструктивные особенности и их влияние на работу.</p> <p>Автотрансформаторы. Трансформация напряжений и токов. Электромагнитная, электрическая и проходная мощность. Сравнительная оценка автотрансформатора и двухобмоточного трансформатора.</p>	3			3
2. Общие вопросы теории машин переменного тока.					
2.1	<p>Электрические машины переменного тока и их роль в производстве и преобразовании электрической энергии. Классификация. Основные элементы. Особенности магнитного поля. Число периодов. Полусное деление.</p> <p>Назначение обмоток возбуждения и якорных обмоток. Основные типы, конструктивные элементы и параметры якорных обмоток.</p>	2	1		2
	<p>Понятие о МДС распределенной обмотки. Графическое построение кривой МДС. Расчет МДС фазы.</p> <p>Влияние на МДС распределения катушечной группы по пазам, укорочения шага, скоса пазов. Обмоточный коэффициент.</p> <p>Образование вращающейся волны МДС с помощью трехфазной обмотки и ее расчет. Частота вращения волны МДС основной гармоники. Круговое и эллиптическое вращение. МДС высших пространственных гармоник.</p>	2			2
3. Асинхронные машины.					
3.1	<p>Область применения. Конструкция основных частей. Принцип действия асинхронного двигателя (АД). Скольжение магнитного поля относительно ротора.</p>	1	2	2	4

3.2	Описание электромагнитных процессов. Разложение на составляющие магнитного поля. Основные ЭДС, индуцируемые в обмотках статора и ротора. Коэффициент трансформации. ЭДС рассеяния и индуктивные сопротивления обмоток. Уравнение электрического равновесия обмоток статора и ротора. Интерпретация энергетических соотношений в схеме замещения цепи ротора. Уравнения равновесия МДС обмоток статора и ротора. Коэффициент приведения (трансформации) токов.	3			3
3.3	Приведение параметров обмотки ротора к числу витков и числу фаз обмотки статора. Система уравнений АД в приведенных величинах и их аналогия с уравнениями трансформатора. Схема замещения (Т- и Г-образная) и физический смысл ее параметров. Аналитическое определение вращающего момента АД. Механическая характеристика. Максимальный и пусковой моменты. Критическое скольжение. Режимы работы асинхронной машины.	4	2	–	5
3.4	АД с улучшенными пусковыми свойствами (с повышенным скольжением, с двойной клеткой, с глубокими пазами на роторе).	1			1
3.5	Влияние нагрузки на валу АД на параметры установившегося режима (скольжение и частота вращения, вращающий момент на валу, потребляемые из сети ток и активная мощность, коэффициент мощности и КПД).	2	4	4	12
3.6	Способы пуска. Прямой пуск, пусковой ток и способы его снижения. Пуск при пониженном напряжении. Пуск асинхронного двигателя с фазным ротором. Способы регулирования частоты вращения. Частотное регулирование. Изменение числа пар полюсов. Изменение крутизны механической характеристики.	3		1	2
Всего за семестр № 4		34	17	17	66

Курс 3 Семестр № 4

№ п/п	Наименование раздела (краткое содержание)	Объем на тематический раздел по видам учебной нагрузки, час			
		Лекции	Практические занятия	Лабораторные занятия	Самостоятельная работа
4. Синхронные машины.					
4.1	Классификация. Область применения. Устройство активных частей. Системы охлаждения. Системы возбуждения. Магнитное поле возбуждения и улучшение формы кривой его распределения в зазоре.	1	1	1	4
	Принцип действия синхронного генератора (СГ) при работе на автономную нагрузку. Описание электромагнитных процессов при симметричной нагрузке. Магнитное поле и его разложение на составляющие. Реакция якоря синхронного генератора при работе на автономную нагрузку и ее зависимость от характера нагрузки. Моделирование процессов в явнополюсном СГ методом двух реакций. Уравнения электрического равновесия обмотки статора явнополюсного и неявнополюсного СГ. Векторные диаграммы.	2	1		1
4.2	Рабочие характеристики СГ при работе на автономную нагрузку: холостого хода, внешняя, регулировочная. Характеристика трехфазного КЗ. Отношение короткого замыкания.	1	1	4	4

4.3	Параллельная работа синхронного генератора на сеть большой мощности. Условия включения. Методы синхронизации. Перевод синхронной машины при параллельной работе с сетью в режим генератора и двигателя. Регулирование активной мощности.	1	1	2	3
4.4	Зависимость электромагнитной мощности и электромагнитного момента синхронной машины (явно- и неявнополюсной) от угла нагрузки. Угловая характеристика. Статическая устойчивость. Регулирование реактивной мощности синхронной машины при параллельной работе с сетью в режиме постоянной активной мощности. U -образные характеристики.	1	1	–	1
4.5	Синхронные двигатели. Область применения. Устройство. Системы возбуждения. Уравнение электрического равновесия обмотки якоря синхронного двигателя. Векторная диаграмма. Способы пуска синхронных двигателей. Синхронные компенсаторы.	2	2		5
4.6	Переходные процессы в синхронных машинах. Внезапное короткое замыкание (ВКЗ) на выводах СГ. Физические процессы. Периодические и аperiodические составляющие токов в обмотках генератора. Схема замещения трехфазного СГ при ВКЗ. Физический смысл параметров схемы замещения. Ударный ток. Возможные последствия ВКЗ.	1	1	–	1
5. Машины постоянного тока.					
5.1	Область применения. Устройство. Способы возбуждения. Якорные обмотки. Основные конструктивные параметры. Простая петлевая обмотка. Уравнивательные соединения. Простая волновая обмотка.	1	2	2	5
5.2	Принцип действия генератора и двигателя постоянного тока. Уравнение равновесия напряжений и ЭДС цепи якоря. Магнитное поле в воздушном зазоре. Режим ХХ. Режим нагрузки: поперечная и продольная реакция якоря и ее воздействие на магнитное поле. ЭДС и электромагнитный момент якоря.	2	2	–	3
5.3	Генераторы постоянного тока (ГПТ). Принцип самовозбуждения. Характеристики ГПТ независимого, параллельного и смешанного возбуждения.	1	2	4	6
5.4	Двигатели постоянного тока (ДПТ). Уравнение механической характеристики при независимом (параллельном) возбуждении. Механические характеристики ДПТ. Способы пуска и регулирования частоты вращения.	2	3	4	8
5.5	Коммутация в машинах постоянного тока. Природа проводимости в щеточном контакте. Причины искрения на коллекторе. Степени искрения. Основное уравнение коммутации. Прямолинейная, ускоренная и замедленная коммутация. Способы улучшения коммутации.	2	–	–	1
Всего за семестр № 5		17	17	17	42

4.2. Содержание практических (семинарских) занятий

№ п/п	Наименование раздела дисциплины	Тема практического (семинарского) занятия	К-во часов	К-во часов СРС
семестр № 3				
1	Трансформаторы	Определение группы трехфазного трансформатора. Расчет электрических величин.	2	2

2		Расчет параметров схемы замещения, потерь и КПД трансформатора.	2	2
3		Расчет изменения вторичного напряжения при нагрузке и внешняя характеристика трансформатора	2	2
4		Расчет распределения нагрузки между параллельно работающими трансформаторами.	2	2
5	Общие вопросы теории машин переменного тока.	Схемы обмоток машин переменного тока. Графическое построение кривой МДС.	2	2
6	Асинхронные машины	Расчет параметров рабочего режима АД.	3	3
7		Расчет параметров пускового режима АД.	2	2
8		Расчет механической характеристики АД.	2	2
ИТОГО:			17	17
семестр № 4				
1	Синхронные машины	Определение величины и частоты генерируемого напряжения синхронного генератора, скорости вращения и числа полюсов.	3	3
2		Параллельная работа синхронной машины с сетью. <i>U</i> -образные характеристики.	2	2
3		Расчет параметров рабочего режима синхронной машины. Построение векторных диаграмм.	2	2
4		ВКЗ синхронного генератора	2	2
5	Машины постоянного тока	Расчет параметров рабочего режима машин постоянного тока.	2	2
6		Определение параметров обмоток машин постоянного тока	2	2
7		Расчет параметров пускового режима ДПТ.	2	2
8		Расчет механических характеристик ДПТ	2	2
ИТОГО:			17	17
ВСЕГО:			34	34

4.3. Содержание лабораторных занятий

№ п/п	Наименование раздела дисциплины	Тема лабораторного занятия	К-во часов	К-во часов СРС
семестр № 3				
1	Предмет и задачи курса. Общие понятия и определения	Вводное занятие. Техника безопасности, Правила безопасной работы в лаборатории и на полигоне, с измерительными приборами и оборудованием.	2	2
2	Трансформаторы	Исследование однофазного трансформатора	8	8
3	Асинхронные машины	Исследование трехфазного асинхронного двигателя с короткозамкнутым ротором	7	7
ИТОГО:			17	17
семестр № 4				
1	Синхронные машины	Исследование работы синхронного генератора при работе на автономную нагрузку.	6	6
2	Машины постоянного тока	Исследование генератора постоянного тока	5	5
		Исследование двигателя постоянного тока	6	6
ИТОГО:			17	17
ВСЕГО:			34	34

4.4. Содержание курсовой работы

Курсовая работа выполняется в 4-м семестре. Она является отдельным видом самостоятельной работы и служит для закрепления теоретических знаний, полученных при изучении раздела «трансформаторы» дисциплины, приобретения навыков использования научно-технической и справочной литературы, применения информационных технологий, практических навыков по проектированию.

На выполнение курсовой работы учебным планом отводится 36 часов.

На выполнение курсовой работы учебным планом отводится 36 часов.

Тема курсовой работы: «Расчет трехфазного асинхронного двигателя с короткозамкнутым ротором»

Содержание расчетной части задания:

- 1). Выбор главных размеров.
- 2). Расчет обмотки статора.
- 3). Расчет размеров зубцовой зоны статора и воздушного зазора.
- 4). Расчет ротора.
- 5). Поверочный расчет магнитной цепи.
- 6). Расчет параметров рабочего режима.
- 7). Расчет потерь и тока при холостом ходе.
- 8) Расчет рабочих характеристик.
- 9) Расчет пусковых характеристик.

Примерный объем расчетно-пояснительной записки – 25 листов машинописного текста

Содержание графической части задания:

Графическая часть состоит из чертежа общего вида асинхронного двигателя. Выполняется на одном листе формата А2 или А3.

Пример задания

№ вар	$P_{2н}$, кВт	U_n , В	n_1 , об/мин	Режим работы	Класс изол.	Степень защиты	Способ охлажд.	Исполн. по способу монтажа
1.	1,5	380/220	1000	S1	F	IP44	IC0141	IM2001

Перечень типовых вопросов при защите курсовой работы

1. Принцип действия асинхронного двигателя.
2. Конструкция асинхронного двигателя.
3. Исполнение по способу монтажа.
4. Исполнение по степени защиты, обеспечиваемой оболочкой.
5. Исполнение по способу охлаждения.
4. Назначение магнитопровода.
5. Назначение обмотки, конструкция обмотки.
6. Пояснить развернутую схему обмотки статора АД.
7. Виды обмоточных проводов.
8. Пояснить смысл коэффициента распределения, укорочения, обмоточного коэффициента.
9. Расчет номинального и пускового токов АД.
10. Расчет номинальной частоты вращения и скольжения АД.

11. Упрощенная схема замещения АД и физический смысл ее параметров.
12. Выбор главных размеров.
13. 2). Расчет обмотки статора.
14. Расчет размеров зубцовой зоны статора и воздушного зазора.
15. Расчет ротора.
16. Поверочный расчет магнитной цепи.
17. Характерные значения магнитной индукции на участках магнитной системы асинхронного двигателя.
18. Расчет параметров рабочего режима.
19. Расчет потерь и тока при холостом ходе.
20. Расчет рабочих характеристик.
21. Объяснить вид характеристики асинхронного двигателя $\eta=f(P_2)$.
22. Объяснить вид характеристики асинхронного двигателя $\cos\varphi=f(P_2)$.
23. Расчет пусковых характеристик.
24. Объяснить вид механической характеристики АД.
25. Точки механической характеристики, которые приводятся в справочной литературе?
26. Виды потерь в асинхронном двигателе.

4.5.Содержание расчетно-графического задания

Расчетно-графическое задание выполняется в 3-м семестре. Она является отдельным видом самостоятельной работы и служит для закрепления теоретических знаний, полученных при изучении раздела «Трансформаторы» дисциплины, приобретения навыков использования научно-технической и справочной литературы, программных средств.

На выполнение задания учебным планом отводится 18 часов.

Тема РГР: «Расчет параметров схемы замещения и анализ характеристик трансформатора в рабочем режиме»

Содержание задания.

- 1). Краткое введение о применении трансформаторов в современных электроприводах.
 - 2). Объяснить условное буквенно-цифровое обозначение силовых двухобмоточных трансформаторов согласно варианту задания.
 - 3). Развернутую схему трансформатора и изобразить на ней напряжения и токи.
 - 4). Начертить Г-образную схему замещения трансформатора.
 - 5). Рассчитать коэффициенты трансформации фазных и линейных напряжений, номинальные линейные и фазные токи трансформатора со стороны ВН и НН.
 - 6). Рассчитать процентное изменение вторичного напряжения ΔU_2 и коэффициент полезного действия при коэффициенте нагрузки $\beta=I_2/I_n=0,75$ и коэффициенте мощности $\cos\varphi=0,8$ (инд).
 6. Рассчитать параметры Г-образной схемы замещения.
 - 7). Построить топографическую векторную диаграмму фазных и линейных напряжений для заданной группы. Объяснить построение.
- Объем работы должен составлять не менее 10 листов машинописного текста.

Пример задания

Технические данные трансформатора

№ вар	S_H , кВА	$U_{ВН}$, кВ	$U_{НН}$, кВ	i_k , %	P_k , Вт	P_o , Вт	I_o , %	Схема, группа
1.	160	10	0,4	4,7	3100	540	2,4	D/Y _H -11

На выполнение задания учебным планом отводится 18 часов.

Объем работы должен составлять не менее 10 листов машинописного текста.

Примеры типовых вопросов при защите РГЗ

1. Применение трансформаторов в современных электроприводах.
2. Условное буквенно-цифровое обозначение силовых двухобмоточных трансформаторов.
3. Конструкция трансформаторов для электроприводов.
4. Схемы соединения обмоток трансформаторов для электроприводов.
5. Объяснить смысл понятия «группа соединения фаз обмоток трансформатора»
6. Объяснить построение топографической векторной диаграммы фазных и линейных напряжений для заданной группы.
7. Пояснить смысл номинального напряжения короткого замыкания.
8. Какие виды потерь учитываются мощностью холостого хода?
9. Какие виды потерь учитываются мощностью короткого замыкания?
10. Начертить Г-образную схему замещения трансформатора и объяснить физический смысл ее параметров.
11. Как рассчитываются параметры Г-образной схемы замещения.
12. Изобразить внешнюю характеристику трансформатора и пояснить ее характер.
13. Как рассчитывается относительное изменение напряжения трансформатора?
14. Что называется коэффициентом полезного действия трансформатора?
15. Расчет коэффициентов трансформации фазных и линейных напряжений.

Защита лабораторных работ

В лабораторном практикуме по дисциплине представлен перечень лабораторных работ, обозначены цель и задачи, необходимые теоретические и методические указания к работе, приведен порядок выполнения работы, содержание отчета и перечень контрольных вопросов.

Перед защитой лабораторных работ проверяется правильность выполнения работы и оформления отчета. Защита проводится в форме собеседования. Примерный перечень контрольных вопросов для защиты лабораторных работ представлен в таблице.

Тема лабораторной работы	Контрольные вопросы
Лабораторная работа №1. Исследование однофазного трансформатора.	<ol style="list-style-type: none">1. Поясните устройство и принцип действия трансформатора.2. Как маркируются выводы обмоток трансформатора?3. Назовите номинальные данные трансформатора.4. Какое соотношение между первичными и вторичными напряжениями, первичными и вторичными токами трансформатора?5. Объясните принцип саморегулирования трансформатора.6. Объясните назначение опытов холостого хода и короткого замыкания трансформатора. При каких условиях они проводятся?7. Изобразите Г-образную схему замещения трансформатора. Как рассчитываются ее параметры?

	<p>8. Объясните физический смысл параметров схемы замещения трансформатора.</p> <p>9. Какие виды потерь учитываются мощностью холостого хода?</p> <p>10. Какие виды потерь учитываются мощностью короткого замыкания?</p> <p>11. Перечислите рабочие характеристики трансформатора.</p> <p>12. Что называется внешней характеристикой трансформатора?</p> <p>13. Объясните зависимость вторичного напряжения от тока нагрузки.</p> <p>14. Объясните зависимость вторичного напряжения от характера нагрузки.</p> <p>15. Как рассчитывается относительное изменение напряжения трансформатора?</p> <p>16. Напишите уравнение баланса активных мощностей трансформатора.</p> <p>17. Что называется коэффициентом полезного действия трансформатора?</p> <p>18. При каком соотношении постоянных и переменных потерь мощности КПД трансформатора имеет максимальное значение?</p> <p>19. Что называется коэффициентом мощности трансформатора?</p>
<p>Лабораторная работа №2.</p> <p>Соединение обмоток трехфазного трансформатора в заданную группу</p>	<p>1. Назовите способы соединения фаз обмоток, используемых в силовых трехфазных трансформаторах, изобразите их схемы.</p> <p>2. Как обозначаются выводы обмоток ВН и НН трехфазных трансформаторов?</p> <p>3. Как определить правильность маркировки выводов фазных обмоток трехфазного трансформатора?</p> <p>4. Для чего необходима правильная маркировка выводов фазных обмоток?</p> <p>5. Объясните, почему при правильной маркировке начал и концов фаз и схеме соединения обмотки ВН фазные напряжения обмотки НН будут всегда равны: $U_a=U_b=U_c$.</p> <p>6. Объясните, почему при неправильной маркировке начал и концов фаз одной из фаз обмотки НН линейное напряжение между фазами с правильной маркировкой будет больше двух других (при условии, что маркировка начал и концов фаз обмотки ВН и ее схема соединения выполнены правильно).</p> <p>7. Как расположены фазы обмоток ВН и НН на стержнях магнитопровода в группах соединения Y/Y_n-0, Δ/Y_n-11, Y/Z_n-11?</p> <p>8. Что называется группой соединения обмоток трехфазного трансформатора и для чего она необходима?</p> <p>9. Почему нельзя включать на параллельную работу трансформаторы с различными группами соединения обмоток?</p> <p>10. Перечислите стандартные группы соединения обмоток трехфазного трансформатора.</p> <p>11. Какие группы можно получить при круговой перестановке фаз обмоток ВН понижающего трансформатора против часовой стрелки и схеме соединения Y/Y и Δ/Y?</p> <p>12. Назовите способы проверки группы соединения обмоток трехфазного трансформатора.</p> <p>13. Опишите прямой метод проверки группы соединения обмоток трехфазного трансформатора.</p> <p>14. Как определить группу соединения трансформатора, если известны векторные диаграммы линейных напряжений обмоток ВН и НН?</p> <p>15. Как теоретически определить группу соединения обмоток трехфазного трансформатора, если известны схема соединения, расположение фаз по стержням, маркировка выводов и направление намотки?</p>
<p>Лабораторная работа №3.</p> <p>Исследование трехфазного асинхронного двигателя с короткозамкнутым ротором</p>	<p>1. Опишите устройство и принцип работы трехфазного асинхронного двигателя.</p> <p>2. Какие схемы используют для соединения фаз обмоток статора и фазного ротора трехфазного асинхронного двигателя?</p> <p>3. Изложите принцип создания вращающегося магнитного поля.</p> <p>4. Приведите формулу для частоты вращения магнитного поля. От каких параметров зависит эта частота вращения?</p> <p>5. Что называется скольжением асинхронного двигателя и каковы пределы его изменения в различных режимах?</p> <p>6. Как частота вращения ротора асинхронного двигателя связана со скольжением?</p>

	<p>7. Почему при пуске асинхронный короткозамкнутый двигатель потребляет максимальный ток, а по мере разгона ток уменьшается?</p> <p>8. Какими способами уменьшают пусковой ток асинхронного двигателя?</p> <p>9. Почему пусковой ток асинхронного двигателя при соединении фаз обмотки статора в звезду в три раза меньше, чем при соединении в треугольник?</p> <p>10. Назовите рабочие характеристики асинхронного двигателя и объясните их характер.</p> <p>11. Почему изменение нагрузки на валу двигателя вызывает изменение тока, потребляемого из сети?</p> <p>12. Что называется механической характеристикой двигателя? Напишите выражение электромагнитного момента через скольжение. Нарисуйте график соответствующей зависимости.</p> <p>13. Какие основные точки механической характеристики приводятся в справочной литературе и чем это обусловлено?</p> <p>14. Как рассчитать номинальный вращающий момент асинхронного двигателя по его паспортным данным?</p> <p>15. По каким причинам нежелательна работа двигателя со значительной недогрузкой?</p> <p>16. Почему при холостом ходе асинхронные двигатели потребляют относительно большой ток и имеют небольшой коэффициент мощности?</p> <p>17. Как изменить направление вращения асинхронного двигателя?</p>
<p>Лабораторная работа №4.</p> <p>Исследование работы синхронного генератора при работе на автономную нагрузку</p>	<p>1. Объясните устройство синхронного генератора.</p> <p>2. Какие существуют способы возбуждения синхронных генераторов?</p> <p>3. Объясните принцип работы СГ.</p> <p>4. От чего зависит частота напряжения генератора? Определите ее реальное значение в опыте.</p> <p>5. Напишите уравнение электрического состояния фазы статорной обмотки СГ.</p> <p>6. В чем заключается реакция якоря в синхронном генераторе, и как она проявляется при различном характере нагрузок?</p> <p>7. Как и в каких пределах изменяется угол нагрузки θ от электрической мощности генератора?</p> <p>8. Чем определяется величина момента первичного двигателя, вращающего ротор генератора?</p> <p>9. Что называется характеристикой холостого хода? Как она снимается?</p> <p>10. Объясните нелинейность характеристики холостого хода?</p> <p>11. Что называется внешней характеристикой? Как она снимается?</p> <p>12. Объясните причины изменения напряжения на зажимах генератора, питающего автономную нагрузку, при изменении ее величины и характера.</p> <p>13. Как осуществляется регулировать напряжение синхронного генератора, работающего на автономную нагрузку?</p> <p>14. Что называется регулировочной характеристикой. Как она снимается?</p> <p>15. Объясните характер регулирования тока возбуждения при изменении величины и характера нагрузки для поддержания напряжения на зажимах генератора неизменным.</p>
<p>Лабораторная работа №5.</p> <p>Исследование генератора постоянного тока</p>	<p>1. Объясните устройство и принцип действия генератора постоянного тока.</p> <p>2. Какую роль выполняет щеточно-коллекторный узел в генераторе постоянного тока?</p> <p>3. Как реально расположены щетки, установленные «на линии геометрической нейтрали»?</p> <p>4. Как классифицируются генераторы постоянного тока по способу соединения обмоток возбуждения с цепью якоря?</p> <p>5. От чего зависит величина напряжения на зажимах генератора при холостом ходе?</p> <p>6. Назовите условия самовозбуждения генератора постоянного тока.</p> <p>7. С какой целью и где устанавливаются добавочные полюсы?</p> <p>8. Напишите формулы, характеризующие работу генератора постоянного тока с параллельным возбуждением.</p>

	<p>9. Какое уравнение характеризует электрическое состояние якоря генератора с параллельным возбуждением?</p> <p>10. Составьте уравнение баланса мощностей генератора постоянного тока с параллельным возбуждением.</p> <p>11. Как рассчитать мощность нагрузки генератора постоянного тока ?</p> <p>12. Что представляет собой характеристика холостого хода генератора и каково ее значение?</p> <p>13. Как снимается характеристика холостого генератора опытным путем?</p> <p>14. Что такое реакция якоря и как она отражается на работе генератора?</p> <p>15. Какую роль играет последовательная обмотка возбуждения в генераторе со смешанным возбуждением при согласном и встречном включении с параллельной обмоткой?</p> <p>16. Что представляет собой внешняя характеристика генератора постоянного тока и каково ее значение?</p> <p>17. Опишите методику снятия опытным путем внешней характеристики генератора.</p> <p>18. Укажите причины и характер изменения напряжения на зажимах генератора при нагрузке и различных способах возбуждения.</p> <p>19. Что называется регулировочной характеристикой генератора постоянного тока и какое ее практическое значение?</p> <p>20. Опишите методику снятия опытным путем регулировочной характеристики генератора.</p> <p>21. Объясните вид регулировочных характеристик.</p>
<p>Лабораторная работа №6.</p> <p>Исследование двигателя постоянного тока</p>	<p>1. Поясните устройство и принцип работы двигателя постоянного тока.</p> <p>2. Приведите классификацию двигателей постоянного тока по способу возбуждения.</p> <p>3. Какую роль выполняет щеточно-коллекторный узел в двигателе постоянного тока?</p> <p>4. Напишите выражения для ЭДС якоря и электромагнитного момента двигателя постоянного тока.</p> <p>5. Напишите уравнение электрического равновесия цепи якоря двигателя.</p> <p>6. Составьте уравнение баланса мощностей двигателя постоянного тока с параллельным возбуждением.</p> <p>7. Какие физические величины определяют электромагнитный момент двигателя постоянного тока?</p> <p>8. Как рассчитать мощность и ток, потребляемые двигателем постоянного тока параллельного возбуждения от источника питания?</p> <p>9. В чем состоит свойство саморегулирования момента двигателя постоянного тока?</p> <p>10. Объясните, как изменяется ток якоря двигателя постоянного тока параллельного возбуждения при изменении момента сопротивления на валу.</p> <p>11. Почему двигатели постоянного тока имеют большой пусковой ток и как его можно ограничить? Опишите способы пуска.</p> <p>12. Как рассчитать пусковой ток двигателя?</p> <p>13. Что называется механической характеристикой двигателя? Каким условиям снятия соответствует естественная характеристика?</p> <p>14. Напишите аналитическое выражение уравнения механической характеристики.</p> <p>15. Какими способами можно регулировать частоту вращения двигателей постоянного тока параллельного возбуждения? Изобразите соответствующие регулировочные характеристики.</p> <p>16. Опишите методику снятия механических характеристик двигателя постоянного тока.</p> <p>17. Как изменить направление вращения двигателя постоянного тока параллельного возбуждения?</p>

5. ОЦЕНОЧНЫЕ МАТЕРИАЛЫ ДЛЯ ПРОВЕДЕНИЯ ТЕКУЩЕГО КОНТРОЛЯ, ПРОМЕЖУТОЧНОЙ АТТЕСТАЦИИ

5.1. Реализация компетенций

Компетенция ОПК-4: Способен использовать методы анализа и моделирования электрических цепей и электрических машин

Наименование индикатора достижения компетенции	Используемые средства оценивания
ОПК-4.6. Анализирует установившиеся режимы работы трансформаторов и асинхронных двигателей, использует знание их режимов работы и характеристик	Экзамен, защита РГЗ, защита лабораторных работ, собеседование
ОПК-4.7. Анализирует установившиеся режимы работы синхронных машин и машин постоянного тока, использует знание их режимов работы и характеристик.	Зачет, защита КР, защита лабораторных работ, собеседование на практических занятиях, тестирование

5.2. Типовые контрольные задания для промежуточной аттестации

Промежуточная аттестация осуществляется в конце **четвертого семестра** изучения дисциплины в форме экзамена и после завершения изучения дисциплины в конце **пятого семестра** в форме зачета.

Вопросы для подготовки к экзамену

Экзаменационный билет включает два вопроса по теории и задачу. комплект билетов для проведения экзамена по дисциплине ежегодно утверждается на заседании кафедры.

Для подготовки письменного ответа на вопросы билета и решение задачи отводится 50 минут. После проверки ответ преподаватель может дополнительно провести со студентом собеседование с целью определения уровня освоения студентом изученного материала.

Распределение вопросов и заданий по билетам находится в закрытом для студентов доступе.

Перечень тем и вопросов для подготовки к теоретической части экзамена

№ п/п	Наименование раздела дисциплины	Содержание вопросов (типовых заданий)
1	Трансформаторы (ОПК-4.6)	1. Устройство трансформатора. Конструкции магнитопроводов и обмоток. Электротехнические материалы. Конструкции баков, способы охлаждения, арматура. 2. Схемы и группы соединения обмоток трехфазного трансформатора. 3. Принцип трансформации напряжений на примере трансформатора с идеальными обмотками и магнитопроводом. 4. Принцип трансформации токов в режиме нагрузки на примере трансформатора с идеальными обмотками и магнитопроводом.

		<ol style="list-style-type: none"> 5. Магнитное поле реального трансформатора под нагрузкой и его разложение на составляющие. Индуктивные сопротивления рассеяния. Уравнения электрического равновесия по контурам первичной и вторичной обмоток. 6. Уравнение равновесия МДС первичной и вторичной обмоток реального трансформатора. Зависимость намагничивающего тока от качества магнитопровода. 7. Понятие о приведенном трансформаторе. Приведение значений вторичных величин к числу витков первичной обмотки при сохранении всех составляющих мощности. Уравнения приведенного трансформатора. 8. Т-образная схема замещения приведенного трансформатора и физический смысл ее параметров. Г-образная и упрощенная схемы замещения. «Сквозное» уравнение и упрощенная векторная диаграмма трансформатора. 9. Опыты холостого хода и короткого замыкания. Номинальное напряжение короткого замыкания. Определение параметров схемы замещения. 10. Виды потерь электрической энергии в трансформаторах. КПД трансформатора и его зависимость от нагрузки. 11. Изменение вторичного напряжения трансформатора при нагрузке. Вывод расчетного выражения для изменения напряжения. Внешняя характеристика трансформатора. 12. Регулирование напряжения в силовых трансформаторах. Устройства регулирования без возбуждения и под нагрузкой. 13. Параллельная работа трансформаторов и ее технико-экономические преимущества. Оптимальные условия включения на параллельную работу. 14. Условие отсутствия уравнивающего тока при параллельной работе трансформаторов без нагрузки. 15. Распределение нагрузки между трансформаторами при параллельной работе при неодинаковых и равных напряжениях КЗ. 16. Несимметричная нагрузка при схеме соединения Y/Y_n и Y/Z_n. 17. Несимметричная нагрузка при схемах соединения Δ/Y_n и Y_n/Y_n, Y/Y, Y/Δ, Δ/Y и Δ/Δ 18. Трехобмоточные трансформаторы. Область применения. Основные уравнения и схема замещения. Работа трехобмоточного трансформатора под нагрузкой. 19. Трансформаторы с расщепленной обмоткой: конструктивные особенности и их влияние на работу. 20. Автотрансформаторы. Трансформация напряжений и токов. Электромагнитная, электрическая и проходная мощность. Сравнительная оценка автотрансформатора и двухобмоточного трансформатора.
2	<p>Общие вопросы теории машин переменного тока (ОПК-4.6, (ОПК-4.7))</p>	<ol style="list-style-type: none"> 21. Классификация электрических машин. Основные элементы. Особенности магнитного поля. Число периодов. Полусное деление. 22. Назначение обмоток возбуждения и якорных обмоток. Основные типы, конструктивные элементы и параметры якорных обмоток. 23. Понятие о МДС распределенной обмотки. Графическое построение кривой МДС. Определение МДС фазы. 24. Влияние на МДС распределения катушечной группы по пазам, укорочения шага. Вывод расчетных формул для коэффициентов распределения и укорочения. 25. Скос пазов и его влияние на индукционное взаимодействие обмоток. Вывод расчетной формулы для коэффициента скоса. Обмоточный коэффициент. 26. Образование вращающейся волны МДС с помощью трехфазной обмотки. Понятие о пространственно-временном векторе МДС. Частота вращения волны МДС основной гармоники. Круговое и эллиптическое вращение. МДС высших пространственных гармоник.
3	<p>Асинхронные Машины (ОПК-4.6)</p>	<ol style="list-style-type: none"> 27. Конструкция основных частей асинхронного двигателя. Принцип действия. Скольжение магнитного поля относительно ротора. Режимы работы асинхронной машины.

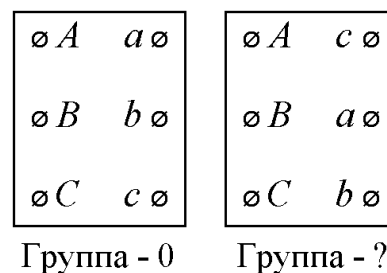
		<p>28. Разложение на составляющие магнитного поля асинхронного двигателя. Основные ЭДС, индуцируемые в обмотках статора и ротора. Коэффициент трансформации. ЭДС рассеяния и индуктивные сопротивления обмоток.</p> <p>29. Уравнение электрического равновесия обмоток статора и ротора. Интерпретация энергетических соотношений в схеме замещения цепи ротора.</p> <p>30. Уравнения равновесия МДС обмоток статора и ротора. Коэффициент приведения (трансформации) токов.</p> <p>31. Приведение параметров обмотки ротора асинхронного двигателя к числу витков и числу фаз обмотки статора. Система уравнений в приведенных величинах и их аналогия с уравнениями трансформатора. Схема замещения и физический смысл ее параметров.</p> <p>32. Аналитическое определение вращающего момента асинхронного двигателя. Механическая характеристика. Максимальный и пусковой моменты. Критическое скольжение.</p> <p>33. Асинхронные двигатели с улучшенными пусковыми свойствами (с повышенным скольжением, с двойной клеткой, с глубокими пазами на роторе).</p> <p>34. Влияние нагрузки на валу асинхронного двигателя на параметры установившегося режима (скольжение и частота вращения, момент на валу, потребляемые из сети ток и активная мощность, коэффициент мощности и КПД).</p> <p>35. Способы пуска и регулирования частоты вращения асинхронных двигателей.</p>
--	--	--

Перечень типовых задач для практической части экзамена

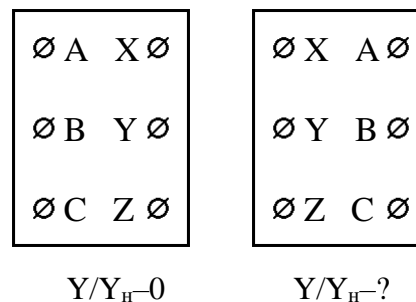
Задача. Трехфазный трансформатор с номинальными напряжениями $U_{ВН}=10$ кВ и $U_{НН}=0,69$ кВ питает асинхронный двигатель с данными рабочего режима: $P_2=175$ кВт, $\eta=0,94$, $\cos\varphi=0,92$, $U_n=660/380$ В. Определить номинальный ток, потребляемый трансформатором из сети (потери в трансформаторе пренебречь).

Задача. Трехфазный трансформатор ТС–2,5 имеет клеммные панели, на которые выведены начала и концы обмоток ВН и НН. При схеме соединения Y/Y трансформатор имеет линейные напряжения 380/220 В. Определить линейные напряжения трансформатора при схеме соединения Y/ Δ .

Задача. На рисунке изображено расположение выводов обмоток ВН и НН некоторого трансформатора до и после их перемаркировки. Определить группу соединений обмоток трансформатора после перемаркировки выводов.



Задача. На рисунке изображено расположение выводов обмотки ВН некоторого трансформатора до и после их перемаркировки. Определить группу соединений обмоток трансформатора после перемаркировки выводов обмотки ВН.



Задача. Трансформатор с номинальной мощностью $S_n=1000$ кВА нагружен на 65% с коэффициентом мощности $\cos\varphi=0,85$. Номинальные потери короткого замыкания трансформатора $P_{кн}=12,2$ кВт, потери холостого хода $P_0=2,5$ кВт. Определите КПД трансформатора.

Задача. Трансформаторы с номинальными данными, приведёнными ниже, работают параллельно. Определить относительную нагрузку первого трансформатора, если второй трансформатор нагружен на 80% своей номинальной мощности.

№	S_n , кВА	$U_{ВН}$, кВ	$U_{НН}$, кВ	u_k , %	Схема, группа
1.	1600	35	0,4	6,2	Y/Y _n -0
2.	1000	35	0,4	6,5	Y/Y _n -0

Задача. Два одинаковых трансформатора, напряжение короткого замыкания которых составляет $u_k=5\%$, работают параллельно. Трансформаторы имеют регулировочные отводы +5%; +2,5%; 0; -2,5%; -5%. Один из трансформаторов работает на отводе +5%. Определить, на каком отводе работает другой трансформатор, если в режиме холостого хода по обмоткам трансформатора протекает уравнивающий ток, по силе равный номинальному.

Задача. Определите параметры r_k и x_k упрощенной схемы замещения трехфазного трансформатора, номинальные данные которого приведены в таблице.

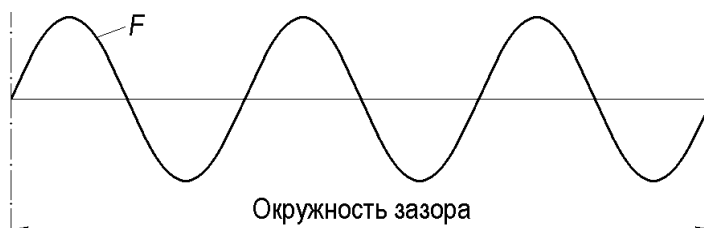
S_n , кВА	$U_{ВН}$, кВ	$U_{НН}$, кВ	u_k , %	P_k , Вт	Схема
100	10	0,4	4,5	1970	Y/Y _n

Задача. Трансформаторы с номинальными данными, приведёнными ниже, работают параллельно. Определить линейные токи трансформаторов на стороне низшего напряжения, если второй трансформатор нагружен на 90% своей номинальной мощности.

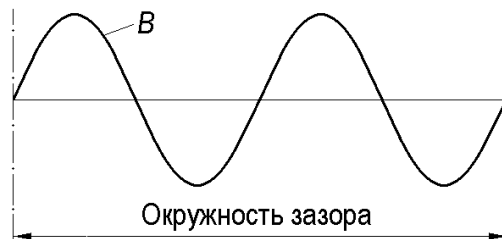
№	S_n , кВА	$U_{ВН}$, кВ	$U_{НН}$, кВ	u_k , %	Схема, группа
1.	100	10	0,4	4,5	Y/Y _n -0
2.	160	10	0,4	4,5	Y/Y _n -0

Задача. Номинальное вторичное напряжение некоторого трансформатора равно 0,4 кВ, а напряжение короткого замыкания 6,5%, его активная составляющая – 1,5%. Рассчитать величину вторичного напряжения трансформатора при нагрузке 75% с коэффициентом мощности 0,8 (инд.).

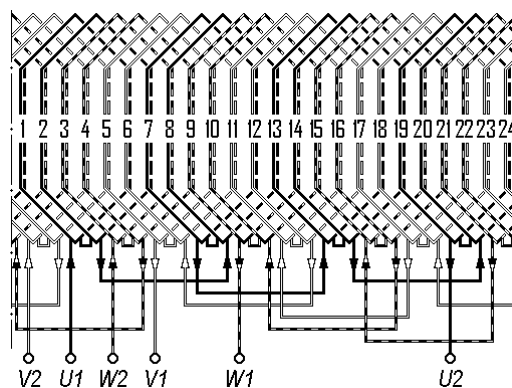
Задача. На рисунке изображено распределение вращающейся волны МДС трехфазной обмотки машины переменного тока в некоторый момент времени. Чему равна частота вращения этой волны при частоте протекающего по обмотке статора тока $f=60$ Гц?



Задача. На рисунке изображено распределение индукции вращающегося магнитного поля в зазоре электрической машины переменного тока в некоторый момент времени. Чему равна частота вращения этого поля при частоте протекающего по обмотке статора тока $f=50$ Гц?

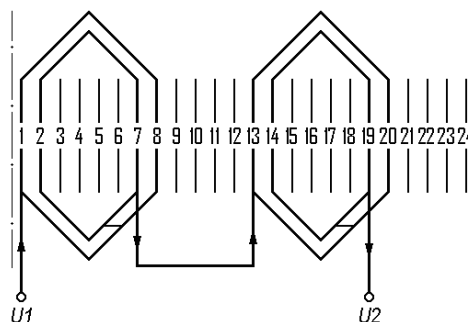


Задача. Определить коэффициент укорочения обмотки, схема которой изображена на рисунке.



Задача. Трехфазная двухслойная обмотка расположена в 24 пазах и имеет число полюсов $2p=4$. Каким должен быть шаг обмотки (в пазовых делениях), чтобы максимально ослабить 5-ю и 7-ю пространственную гармонику МДС?

Задача. По схеме одной фазы однослойной трехфазной обмотки определите обмоточный коэффициент.



Задача. Асинхронный двигатель имеет частоту вращения ротора $n_2=950$ об/мин при частоте питающей сети 50 Гц. Определите число полюсов двигателя и частоту тока в обмотке ротора.

Задача. Асинхронный двигатель имеет частоту вращения ротора $n_2=2850$ об/мин. Определите частоту тока в обмотке ротора, если частота тока в обмотке статора составляет 50 Гц.

Задача. Одна из фаз (остальные отключены) обмотки статора трехфазного асинхронного двигателя с числом полюсов $2p=4$ подключена к источнику постоянного тока. Ротор двигателя приводится во вращение с частотой 1500 об/мин внешней силой. Определить частоту ЭДС, индуцированной в обмотке ротора?

Задача. В цепь фазного ротора четырехполюсного асинхронного двигателя включен амперметр магнитоэлектрической системы, шкала которого имеет нулевое значение посередине. Во время работы двигателя от сети 50 Гц стрелка прибора за 20 сек совершает 40 полных колебаний. Рассчитать частоту вращения ротора двигателя.

Задача. Определить частоту вращения четырехполюсного асинхронного двигателя при частоте питающей сети $f=60$ Гц, если скольжение $s=0,045$.

Задача. Асинхронный двигатель с числом полюсов $=4$ имеет номинальные данные, приведенные в таблице. Определить частоту вращения при половинной нагрузке.

Тип АД	$2p$	f , Гц	s_n
АИР132S4	4	50	0,04

Задача. Определить максимальный момент [Н·м] четырехполюсного асинхронного двигателя, справочные данные которого приведены в таблице.

Тип АД	P_n , кВт	M_{max}/M_n	s_n	f , Гц
АИР132S4	7,5	2,5	0,04	50

Задача. Трёхфазный асинхронный двигатель с номинальными данными, приведёнными в таблице, имеет нагрузку на валу, равную 70% от номинального значения. Определить ток, потребляемый АД из сети. Принять, что значения η и $\cos\varphi$ соответствуют номинальным.

Тип АД	P_n , кВт	U , В (Y\Δ)	η	$\cos\varphi$
4А160М4	15	380/220	0,88	0,91

Задача. Определить пусковой момент [Н·м] четырехполюсного асинхронного двигателя, справочные данные которого приведены в таблице.

Тип АД	P_n , кВт	$M_{пус}/M_n$	s_n	f , Гц
АИР132S4	7,5	2	0,04	50

Задача. Трёхфазный асинхронный двигатель с фазным ротором имеет следующие параметры Г-образной схемы замещения: $r_1=0,071$ Ом, $x_1=0,15$ Ом, $r_2'=0,078$ Ом, $x_2'=0,21$ Ом. Определить приведенное значение сопротивления пускового реостата, при котором $M_{пус}=M_{max}$.

Вопросы для подготовки к коллоквиуму

4	Синхронные Машины (ОПК-4.7)	<ol style="list-style-type: none"> 1. Классификация. Область применения. Устройство активных частей. Системы охлаждения. 2. Системы возбуждения. Магнитное поле возбуждения и улучшение формы кривой его распределения в зазоре. 3. Назначение и принцип действия синхронного генератора (при работе на автономную нагрузку). 4. Магнитное поле синхронной машины и его разложение на составляющие. Реакция якоря синхронного генератора при работе на автономную нагрузку и ее зависимость от характера нагрузки. Моделирование процессов в явнополюсном синхронном генераторе методом двух реакций. 5. Уравнения электрического равновесия обмотки статора явнополюсного и неявнополюсного синхронных генераторов. Векторные диаграммы. 6. Характеристики синхронного генератора при работе на автономную нагрузку: холостого хода, внешняя, регулировочная. Характеристика трехфазного КЗ. Отношение короткого замыкания.
---	-----------------------------	--

		<ol style="list-style-type: none"> 7. Параллельная работа синхронного генератора на сеть большой мощности. Условия включения. Методы синхронизации. 8. Перевод синхронной машины при параллельной работе с сетью в режим генератора и двигателя. Регулирование активной мощности. 9. Зависимость электромагнитной мощности и электромагнитного момента синхронной машины (явно- и неявнополюсной) от угла нагрузки. Угловая характеристика. Статическая устойчивость. 10. Регулирование реактивной мощности синхронной машины при параллельной работе с сетью в режиме постоянной активной мощности. U-образные характеристики. 11. Синхронные двигатели. Область применения. Устройство. Системы возбуждения. 12. Уравнение электрического равновесия обмотки якоря синхронного двигателя. Векторная диаграмма. 13. Способы пуска синхронных двигателей. 14. Синхронные компенсаторы. Область применения. Работа в режимах компенсации реактивной мощности и стабилизации напряжения. 15. Внезапное симметричное короткое замыкание на выводах синхронного генератора. Физические процессы при ВКЗ. Возникновение периодических и апериодических составляющих токов в обмотках. 16. Схема замещения синхронного генератора при ВКЗ и физический смысл ее параметров. Ударный ток короткого замыкания и его расчет. Возможные последствия ВКЗ.
5	Машины постоянного тока (ОПК-4.7)	<ol style="list-style-type: none"> 17. Машины постоянного тока. Область применения. Устройство. 18. Способы возбуждения машин постоянного тока. 19. Якорные обмотки. Основные конструктивные параметры. 20. Простая петлевая обмотка. Шаги обмотки. Число параллельных ветвей. Уравнительные соединения. 11. Простая волновая обмотка. Шаги обмотки. Число параллельных ветвей. 22. Генераторы постоянного тока. Назначение. Область применения. Принцип действия. Уравнение равновесия напряжений и ЭДС цепи якоря. 23. Генераторы постоянного тока с самовозбуждением. Принцип самовозбуждения. 24. Двигатели постоянного тока. Назначение. Область применения. Принцип действия. Уравнение равновесия напряжений и ЭДС цепи якоря. 25. Магнитное поле в воздушном зазоре. Режим ХХ. Режим нагрузки: поперечная и продольная реакция якоря и ее воздействие на магнитное поле. 26. ЭДС и электромагнитный момент якоря машины постоянного тока. 27. Характеристики генераторов постоянного тока независимого, параллельного и смешанного возбуждения. 28. Двигатели постоянного тока. Уравнение механической характеристики при независимом (параллельном) возбуждении. 29. Механические характеристики двигателей постоянного тока. 30. Способы пуска и регулирования частоты вращения двигателей постоянного тока. 31. Коммутация в машинах постоянного тока. Причины искрения на коллекторе. Степени искрения. 32. Основное уравнение коммутации. Прямолинейная, ускоренная и замедленная коммутация. 33. Способы улучшения коммутации в машинах постоянного тока.

Коллоквиум может быть также проведен в форме тестирования.
Пример тестового билета:

Билет №

Задача 1. Выберите правильное функциональное назначение:

В синхронном двигателе: 1) электрическая энергия преобразуется в механическую энергию; 2) электрическая энергия с одними параметрами напряжения, тока и частоты преобразуется в электрическую энергию с другими параметрами напряжения, тока и частоты; 3) механическая энергия преобразуется в электрическую энергию; 4) химическая энергия преобразуется в механическую энергию; 5) иное функциональное назначение.

Задача 2. Какие функции выполняет обмотка 1, расположенная в полюсных наконечниках индуктора синхронного двигателя?

- 1) Создает вращающий момент при замедлении ротора.
- 2) Создает тормозной момент при ускорении ротора.
- 3) Создает вращающий момент при асинхронном пуске.
- 4) Выполняет все вышеперечисленные функции.



Задача 3. Какое из приведенных ниже уравнений электрического равновесия соответствует обмотке якоря синхронного турбодвигателя, если при записи уравнения принято, что условное положительное направление тока в якоре совпадает с направлением действия приложенного напряжения?

- 1) $\underline{U}_1 = \underline{E}_1 + r_1 \underline{I}_1 + jx_1 \underline{I}_1$; 2) $\underline{U} = \underline{E}_0 - jx_d \underline{I}_d - r \underline{I}$; 3) $\underline{U} = \underline{E}_0 + jx_c \underline{I} + r \underline{I}$; 4) $\underline{U} = \underline{E}_0 - jx_d \underline{I}_d - jx_q \underline{I}_q - r \underline{I}$;
- 5) $\underline{U} = \underline{E}_0 + jx_d \underline{I}_d + jx_q \underline{I}_q + r \underline{I}$; 6) $\underline{U}_2 = \underline{E}_2 - r_2 \underline{I}_2 - jx_2 \underline{I}_2$;

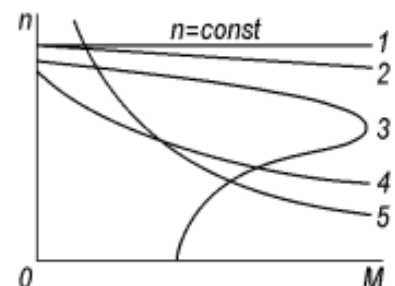
Задача 4. Рассчитайте ток якоря трехфазного синхронного генератора по следующим данным: подводимая к генератору мощность $P_1 = 100$ кВт, $\eta = 0.92$, напряжение на зажимах обмотки якоря $U_n = 500$ В, $\cos \varphi_n = 0.8$. Схема соединения обмотки якоря – звезда.

Ответы: 1) 64, 2 А; 2) 86,6 А; 3) 98,1 А; 4) 132,6 А; 5) 156,9 А

Задача 5. Функциональное назначение какой из частей машины постоянного тока указано ошибочно?

- 1). По обмотке якоря протекает ток нагрузки и в ней наводится ЭДС.
- 2). Обмотка возбуждения главных полюсов создает рабочий магнитный поток.
- 3). Добавочные полюсы служат для улучшения коммутации.
- 4). Щеточно-коллекторный узел соединяет вращающуюся обмотку якоря с внешней цепью.
- 5). Станина – часть магнитопровода машины, по которой замыкается рабочий магнитный поток и поток добавочных полюсов.
- 6). Компенсационная обмотка компенсирует поле добавочных полюсов.

Задача 6. На рисунке представлены механические характеристики ряда электрических двигателей. Какая из них соответствует двигателю постоянного тока параллельного возбуждения?



Задача 7. Уравнение $I_a = I_n$, связывающее токи якоря и возбуждения, соответствует: 1) генератору независимого возбуждения; 2) двигателю независимого возбуждения; 3) генератору параллельного возбуждения; 4) двигателю параллельного возбуждения; 5) генератору последовательного возбуждения; 6) двигателю параллельного возбуждения.

5.3. Описание критериев оценивания компетенций и шкалы оценивания

При промежуточной аттестации в форме экзамена (4 семестр) используется следующая шкала оценивания: 2 – неудовлетворительно, 3 – удовлетворительно, 4 – хорошо, 5 – отлично.

При промежуточной аттестации в форме зачета (5 семестр) используется следующая шкала оценивания: не зачтено, зачтено.

При промежуточной аттестации в форме экзамена:

Оценка сформированности компетенций по показателю Знания.

Критерий	Уровень освоения и оценка			
	2	3	4	5
Знание терминов, определений, понятий	Не знает терминов и определений, понятий, используемых в теории трансформаторов и асинхронных двигателей	Знает термины и определения, но допускает неточности формулировок	Знает термины и определения, понятия, используемые в теории трансформаторов и асинхронных двигателей	Знает термины и определения, понятия, используемые в теории трансформаторов и асинхронных двигателей; может корректно сформулировать их самостоятельно
Знание основных закономерностей, соотношений, принципов	Не знает основных закономерностей, соотношений, описывающих трансформаторы и асинхронные двигатели	Знает, но допускает неточности при формулировке и описании основных закономерностей, соотношений, описывающих трансформаторы и асинхронные двигатели	Знает основные закономерности, соотношения, описывающие трансформаторы и асинхронные двигатели	Знает основные закономерности, соотношения, описывающие трансформаторы и асинхронные двигатели; может самостоятельно их объяснить
Объем освоенного материала	Не знает значительной части материала дисциплины	Имеет поверхностные знания основного материала дисциплины, не усвоив его детали	Знает материал дисциплины в полном объеме	Обладает твердыми и полными знаниями материала дисциплины, владеет дополнительными знаниями
Полнота ответов на вопросы	Не дает ответы на большинство задаваемых вопросов	Дает неполные ответы на большинство вопросов	Дает полные ответы на большую часть заданных вопросов	Дает полные, развернутые ответы на все поставленные вопросы
Четкость изложения и интерпретации знаний	Излагает знания без логической последовательности	Излагает знания с нарушениями в логической последовательности	Излагает знания без нарушений в логической последовательности	Излагает знания в логической последовательности, самостоятельно их интерпретируя и анализируя
	Не иллюстрирует изложение поясняющими формулами, графиками,	Выполняет поясняющие формулы, графики и рисунки небрежно и с ошибками	Выполняет поясняющие формулы, рисунки и схемы корректно и правильно	Выполняет поясняющие рисунки и схемы точно и аккуратно, раскрывая

	рисунками и примерами			полноту усвоенных знаний
	Не излагает или неверно излагает и интерпретирует знания	Допускает неточности в изложении и интерпретации знаний	Грамотно и по существу излагает знания	Грамотно и точно излагает знания, делает самостоятельные выводы

Оценка сформированности компетенций по показателю Умения.

Критерий	Уровень освоения и оценка			
	2	3	4	5
Полнота ответа на вопросы экзаменационного билета	Ответы на вопросы экз. билета даны неверно	Ответы даны не в полном объеме	Ответы на вопросы билета раскрыты полностью	Ответы выполнены полностью, рациональным способом
Качество ответа на вопросы экзаменационного билета	Имеются существенные ошибки при ответе на вопросы билета	Ответы выполнены с существенными неточностями, не носящими принципиальный характер	Ответы выполнены с небольшими неточностями	Ответы выполнены без ошибок
Самостоятельность подготовки ответа на вопросы экзаменационного билета	Не может подготовить ответы, в том числе и с дополнительной помощью	Может выполнить задание только с дополнительной помощью	Выполняет задание в основном самостоятельно	Самостоятельно выполняет задание
Умение сравнивать, сопоставлять и обобщать и делать выводы	Не умеет сравнивать, сопоставлять и обобщать, а также делать выводы при ответе на вопросы билета	Допускает ошибки при сопоставлении, обобщении и при формулировании выводов на заданные вопросы	Умеет сравнивать, сопоставлять и обобщать, но допускает небольшие неточности при формулировании выводов	Умеет сравнивать, сопоставлять и обобщать, а также делает верные выводы на задаваемые вопросы
Качество оформления ответа на вопросы экзаменационного билета	Ответы оформлены настолько неряшливо, что не поддаются проверке	Ответы оформлены неаккуратно, отсутствуют необходимые пояснения в виде графиков, схем и формул	Ответы оформлены аккуратно, с необходимыми пояснениями	Ответы оформлены аккуратно, с необходимыми пояснениями и ссылками на используемые источники
Правильность применения теоретического материала	При объяснении теоретического материала допускаются грубые ошибки при описании основных закономерностей, соотношений	Объясняя теоретический материал, допускает ошибки, не носящие принципиальный характер	Теоретический материал применен и интерпретирован в целом правильно, но имеются неточности	Теоретический материал применен и интерпретирован правильно

Оценка сформированности компетенций по показателю Навыки.

Критерий	Уровень освоения и оценка			
	2	3	4	5
Выбор методики формирования ответов на вопросы билета	Неверно выбрана методика подготовки ответов	Методика формирования ответов выбрана в целом верно, но имеются	Методика выполнения ответов выбрана верно, но	Выбрана верная или наиболее рациональная мето-

		незначительные неточности при описании теоретических зависимостей и графического материала	имеются недочеты, не относящиеся к основным теоретическим зависимостям и графическому материалу	дика формирования ответов с применением графического и аналитического методов
Анализ результатов решения задачи	Не произведен анализ результатов решения задачи	Анализ результатов, полученных при решении задачи, выполняется только при помощи преподавателя	Допускаются незначительные неточности в ходе анализа результатов решения задачи	Произведен анализ результатов решения задачи и сделаны правильные выводы
Обоснование полученных результатов	Представляемые результаты не обоснованы	Имеются замечания к полученным результатам, отсутствует в достаточной степени их обоснование	Представляемые результаты теоретически обоснованы и в целом аргументированы	Представляемые результаты теоретически обоснованы, четко аргументированы

6. МАТЕРИАЛЬНО-ТЕХНИЧЕСКОЕ И УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ

6.1. Материально-техническое обеспечение

№	Наименование специальных помещений и помещений для самостоятельной работы	Оснащенность специальных помещений и помещений для самостоятельной работы
1	Учебная аудитория для проведения лекционных занятий	Специализированная мебель; мультимедийный проектор, переносной экран, ноутбук, доска
2	Учебная аудитория для проведения практических занятий, консультаций, текущего контроля, промежуточной аттестации	Специализированная мебель; мультимедийный проектор, переносной экран, компьютер (ноутбук); плакаты и наглядные материалы.
3	Учебная аудитория для проведения лабораторных занятий.	Специализированная мебель. Лабораторные стенды.
4	Читальный зал библиотеки для самостоятельной работы	Специализированная мебель; компьютерная техника, подключенная к сети «Интернет», имеющая доступ в электронную информационно-образовательную среду

6.2. Перечень учебных изданий и учебно-методических материалов

1. Сотников В.В. Электрические машины: в 2 ч. Ч. 1. Трансформаторы. Общие вопросы теории электрических машин. Асинхронные двигатели: учебное пособие / В. В. Сотников. – Белгород: Изд-во БГТУ, 2019. – 160 с.

2. Сотников В.В. Электрические машины: в 2 ч. Ч. 2. Синхронные машины. Машины постоянного тока: учебное пособие / В. В. Сотников. – Белгород: Изд-во БГТУ, 2019. – 126 с.

3. Ванурин В.Н. Электрические машины: учеб. для вузов [Электронный ресурс] / В.Н. Ванурин. – СПб.: Лань, 2021. – 304 с. – Режим доступа: <https://e.lanbook.com/book/171848>. Для авториз. пользователей.

4. Кобозев В.А. Электрические машины: учебное пособие. Часть 1. Машины постоянного тока. Трансформаторы. / Кобозев В.А. – Ставропольский ГАУ, 2015. 208 с. Режим доступа: <https://e.lanbook.com/book/82225>. Книга доступна для чтения в рамках проекта СЭБ.

5. Кобозев В.А. Электрические машины: учебное пособие. Часть 2. Электрические машины переменного тока. / Кобозев В.А. – Ставропольский ГАУ, 2015. 200 с. Режим доступа: <https://e.lanbook.com/book/82226>. Книга доступна для чтения в рамках проекта СЭБ.

6. Ионов А.А. Электрические машины: задачник. / Ионов А.А. Самарский ГУПС, 2019. – 115 с. Режим доступа: <https://e.lanbook.com/book/145823>. Книга доступна для чтения в рамках проекта СЭБ.

7. Ванурин В.Н. Статорные обмотки асинхронных электрических машин: учебное пособие. 2-е изд., испр. и доп. / В.Н. Ванурин. – Изд-во "Лань", 2021. 224 с. Режим доступа: <https://e.lanbook.com/book/168991>. Для авториз. пользователей.

8. Авилов В.Д., Серкова Л.Е., Третьяков Е.А. Конструкция асинхронных двигателей с короткозамкнутым ротором: учебно-методическое пособие к выполнению курсовой работы по дисциплине "Электрические машины и электропривод" для студентов дневной и заочной форм обучения. Омский ГУПС, 2019. – 28 с. Режим доступа: <https://e.lanbook.com/book/165618>. Книга доступна для чтения в рамках проекта СЭБ.

9. Электрические машины. Трансформаторы и асинхронные двигатели: Методические указания к выполнению лабораторных работ для студентов направления бакалавриата 13.03.02 «Электроэнергетика и электротехника» / сост. В.В. Сотников, С.А. Духанин, Д.И. Прокопишин – Белгород: Изд-во БГТУ, 2019. – 44 с.

10. Электрические машины постоянного тока : метод. указания к выполнению лаб. работ для студентов всех специальностей / БГТУ им. В. Г. Шухова, каф. электроэнергетики ; сост.: С. А. Духанин, Ю. И. Рудаков. - Белгород : Изд-во БГТУ им. В. Г. Шухова, 2012. - 28 с. (Документ имеется в электронной библиотеке)

11. Электрические машины постоянного тока [Электронный ресурс БГТУ им. В.Г. Шухова]: метод. указания к выполнению лаб. работ для студентов всех специальностей / БГТУ им. В.Г. Шухова, каф. электроэнергетики; сост.: С.А. Духанин, Ю.И. Рудаков. – 3-е изд., перераб. – Электрон. текстовые дан. – Белгород: Изд-во БГТУ им. В.Г. Шухова, 2012. – Режим доступа: <https://elib.bstu.ru/Reader/Book/2013040917321059953600005528> - Загл. с экрана.

12. Электрические машины: метод. указания к выполнению лаб. работ для студентов специальностей 140211, 140604, 190205, 190702, 270205, 120303, 220501, 280201, 280202 / БГТУ им. В.Г. Шухова, каф. электротехники и автоматики; сост.: А.И. Лимаров, Ф.М. Гребенчук, Н.Б. Сибирцева, Н.С. Требукова, А.С. Солдатенков. – Белгород: Изд-во БГТУ им. В.Г. Шухова, 2009. – 63 с.

6.3. Перечень интернет-ресурсов, профессиональных баз данных, информационно-справочных систем

1. «СтудМед». Электронный ресурс. Режим доступа: <https://www.studmed.ru/>. Поиск по сайту: «электрические машины»

2. Техническая библиотека. Электронный ресурс. Режим доступа: <https://techlibrary.ru/>. Поиск по алфавитному каталогу.
3. Электроэнергетика. Эксплуатация электрических машин и аппаратуры. Электронный ресурс. Режим доступа: <https://forca.ru/knigi/arhivy/ekspluataciya-elektricheskikh-mashin-i-apparatury.html>
4. Школа для электрика. Электрические машины. Электронный ресурс. Режим доступа: <http://electricalschool.info/spravochnik/mashiny/>
5. Электротехника. Электронный ресурс. Режим доступа: <https://electrono.ru/elektricheskie-mashiny>
6. Студопедия – лекционный материал для студентов. Электронный ресурс. Режим доступа: <https://studopedia.su>. Поиск по сайту: «электрические машины»
7. ПУЭ8. Электронный ресурс. Режим доступа: <https://pue8.ru/category/elektricheskie-mashiny>

7. УТВЕРЖДЕНИЕ РАБОЧЕЙ ПРОГРАММЫ

Утверждение рабочей программы без изменений.

Рабочая программа без изменений утверждена на 202_/202_ учебный год.

Протокол №___ заседания кафедры от « » _____ 202_ г.

Заведующий кафедрой ЭиА _____ А.В. Белоусов