



МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования
«Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова»



УТВЕРЖДАЮ
Директор ИЭиАС
В.Р. Храмшин

03.02.2026 г.

РАБОЧАЯ ПРОГРАММА ДИСЦИПЛИНЫ (МОДУЛЯ)

ЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ МАШИНЫ

Направление подготовки (специальность)
13.03.02 Электроэнергетика и электротехника

Направленность (профиль/специализация) программы
Электроэнергетика

Уровень высшего образования - бакалавриат

Форма обучения
очная

Институт/ факультет	Институт энергетики и автоматизированных систем
Кафедра	Электроснабжения промышленных предприятий
Курс	1, 2
Семестр	2, 3

Магнитогорск
2026 год

Рабочая программа составлена на основе ФГОС ВО - бакалавриат по направлению подготовки 13.03.02 Электроэнергетика и электротехника (приказ Минобрнауки России от 28.02.2018 г. № 144)

Рабочая программа рассмотрена и одобрена на заседании кафедры
Электроснабжения промышленных предприятий
22.01.2026 г., протокол № 4

Зав. кафедрой _____ А.В. Варганова

Рабочая программа одобрена методической комиссией ИЭиАС
03.02.2026 г., протокол № 5

Председатель _____ В.Р. Храмшин

Рабочая программа составлена:
доцент кафедры ЭПП, канд. техн. наук

_____ О.В. Газизова

ассистент кафедры ЭПП

_____ А.А. Бочкарев

Рецензент:
заместитель главного энергетика
по электроснабжению УГЭ ПАО «ММК»

_____ А.Я. Альбрехт

Лист актуализации рабочей программы

Рабочая программа пересмотрена, обсуждена и одобрена для реализации в 2027 - 2028 учебном году на заседании кафедры Электроснабжения промышленных предприятий

Протокол от _____ 20__ г. № ____
Зав. кафедрой _____ А.В. Варганова

Рабочая программа пересмотрена, обсуждена и одобрена для реализации в 2028 - 2029 учебном году на заседании кафедры Электроснабжения промышленных предприятий

Протокол от _____ 20__ г. № ____
Зав. кафедрой _____ А.В. Варганова

Рабочая программа пересмотрена, обсуждена и одобрена для реализации в 2029 - 2030 учебном году на заседании кафедры Электроснабжения промышленных предприятий

Протокол от _____ 20__ г. № ____
Зав. кафедрой _____ А.В. Варганова

Рабочая программа пересмотрена, обсуждена и одобрена для реализации в 2030 - 2031 учебном году на заседании кафедры Электроснабжения промышленных предприятий

Протокол от _____ 20__ г. № ____
Зав. кафедрой _____ А.В. Варганова

1 Цели освоения дисциплины (модуля)

Целью освоения дисциплины «Электрические машины» является получение всесторонних знаний о принципе работы, конструкции, назначении электрических машин постоянного и переменного тока и формирование умений и навыков расчёта, анализа и эксплуатации электрических машин различного назначения.

2 Место дисциплины (модуля) в структуре образовательной программы

Дисциплина Электрические машины входит в обязательную часть учебного плана образовательной программы.

Для изучения дисциплины необходимы знания (умения, владения), сформированные в результате изучения дисциплин/ практик:

Физика

Электрические и электронные измерения

Теоретические основы электротехники

Математика

Знания (умения, владения), полученные при изучении данной дисциплины будут необходимы для изучения дисциплин/практик:

Переходные процессы в электроэнергетических системах

Электрические станции и подстанции

Электроэнергетические системы и сети

Электропривод оборудования электрических станций и подстанций

Математическое моделирование в электроэнергетических системах

3 Компетенции обучающегося, формируемые в результате освоения дисциплины (модуля) и планируемые результаты обучения

В результате освоения дисциплины (модуля) «Электрические машины» обучающийся должен обладать следующими компетенциями:

Код индикатора	Индикатор достижения компетенции
ОПК-4	Способен использовать методы анализа и моделирования электрических цепей и электрических машин
ОПК-4.1	Способен оценивать параметры нормальных и аварийных режимов электрических цепей и машин с использованием методов анализа и моделирования
ОПК-4.2	Разрабатывает мероприятия по улучшению показателей качества работы электрических цепей и машин

4. Структура, объём и содержание дисциплины (модуля)

Общая трудоемкость дисциплины составляет 6 зачетных единиц 216 акад. часов, в том числе:

- контактная работа – 113,05 акад. часов;
- аудиторная – 111 акад. часов;
- внеаудиторная – 2,05 акад. часов;
- самостоятельная работа – 102,95 акад. часов;
- в форме практической подготовки – 0 акад. час;

Форма аттестации – зачет.

Раздел/ тема дисциплины	Семестр	Аудиторная контактная работа (в акад. часах)			Самостоятельная работа студента	Вид самостоятельной работы	Форма текущего контроля успеваемости и промежуточной аттестации	Код компетенции
		Лек.	лаб. зан.	практ. зан.				
1. Введение								
1.1 Введение. Основные понятия и определения теории электрических машин	2	2		2	1	Изучение учебной и научно-технической литературы, подготовка конспекта лекций	Устный опрос	ОПК-4 .1, ОПК-4 .2
1.2 Математические методы, используемые при расчёте и анализе характеристик электрических машин		2		2	1	Изучение учебной и научно-технической литературы, подготовка конспекта лекций	Устный опрос	ОПК-4 .1, ОПК-4 .2
Итого по разделу		4		4	2			
2. Электрические машины постоянного тока								
2.1 Генераторы постоянного тока	2	4		14	4	1. Изучение учебной и научно-технической литературы, подготовка конспекта лекций. 2. Решение типовых практических заданий.	1. Устный опрос. 2. Защита решённых практических заданий.	ОПК-4 .1, ОПК-4 .2
2.2 Двигатели постоянного тока		6		14	4	1. Изучение учебной и научно-	1. Устный опрос. 2. Защита решённых	ОПК-4 .1, ОПК-4 .2

						технической литературы, подготовка конспекта лекций. 2. Решение типовых практических заданий.	практических заданий.	
2.3 Машины постоянного тока специального назначения	2	4		4	2	1. Изучение учебной и научно-технической литературы, подготовка конспекта лекций. 2. Решение типовых практических заданий.	1. Изучение учебной и научно-технической литературы, подготовка конспекта лекций. 2. Решение типовых практических заданий.	ОПК-4 .1, ОПК-4 .2
Итого по разделу		14		32	10			
3. Промежуточная аттестация (2 семестр)								
3.1 Зачёт	2				5	Подготовка к сдаче зачёта	Сдача зачёта	ОПК-4 .1, ОПК-4 .2
Итого по разделу					5			
Итого за семестр		18		36	17		зачёт	
4. Трансформаторы								
4.1 Силовые трансформаторы	3	4	4	4	15	1. Выполнение лабораторной работы №1. 2. Изучение учебной и научно-технической литературы, подготовка конспекта лекций. 3. Решение типовых практических заданий.	1. Защита лабораторной работы №1. 2. Устный опрос. 3. Защита решённых практических заданий.	ОПК-4 .1, ОПК-4 .2
4.2 Измерительные трансформаторы		2		4	15	1. Изучение учебной и научно-технической литературы, подготовка конспекта лекций. 2. Решение типовых практических заданий.	1. Изучение учебной и научно-технической литературы, подготовка конспекта лекций. 2. Решение типовых практических заданий.	ОПК-4 .1, ОПК-4 .2
4.3 Трансформаторы специального назначения		2		2	15	1. Изучение учебной и научно-технической литературы,	1. Изучение учебной и научно-технической литературы,	ОПК-4 .1, ОПК-4 .2

						подготовка конспекта лекций. 2. Решение типовых практических заданий.	конспекта лекций. 2. Решение типовых практических заданий.	
Итого по разделу		8	4	10	45			
5. Электрические машины переменного тока								
5.1 Асинхронные машины	3	4	10	4	15	1. Выполнение лабораторных работ №2-4. 2. Изучение учебной и научно- технической литературы, подготовка конспекта лекций. 3. Решение типовых практических заданий.	1. Защита лабораторных работы №2-4. 2. Устный опрос. 3. Защита решённых практических заданий.	ОПК-4 .1, ОПК-4 .2
5.2 Синхронные машины		4	5	2	15	1. Выполнение лабораторной работы №5. 2. Изучение учебной и научно- технической литературы, подготовка конспекта лекций. 3. Решение типовых практических заданий.	1. Защита лабораторной работы №5. 2. Устный опрос. 3. Защита решённых практических заданий.	ОПК-4 .1, ОПК-4 .2
5.3 Электрические машины переменного тока специального назначения		3		3	5	1. Изучение учебной и научно- технической литературы, подготовка конспекта лекций. 2. Решение типовых практических заданий.	1. Устный опрос. 2. Защита решённых практических заданий.	ОПК-4 .1, ОПК-4 .2
Итого по разделу		11	15	9	35			
6. Промежуточная аттестация (3 семестр)								
6.1 Зачёт	3				5,95	Подготовка к сдаче зачёта	Сдача зачёта	
Итого по разделу					5,95			
Итого за семестр		19	19	19	85,95		зачёт	

Итого по дисциплине	37	19	55	102,9 5		зачет	
---------------------	----	----	----	------------	--	-------	--

5 Образовательные технологии

Для реализации предусмотренных видов учебной работы в качестве образовательных технологий в преподавании дисциплины «Электрические машины» используются традиционная и модульно - компетентностная технологии.

Передача необходимых теоретических знаний и формирование основных представлений по курсу «Электрические машины» происходит с использованием мультимедийного и лабораторного оборудования.

Лекции проходят в традиционной форме, в форме лекций-консультаций и проблемных лекций. Теоретический материал на проблемных лекциях является результатом усвоения полученной информации посредством постановки проблемного вопроса и поиска путей его решения. На лекциях – консультациях изложение нового материала сопровождается постановкой вопросов и дискуссией в поисках ответов на эти вопросы.

При проведении лабораторных работ используются работа в команде и методы ИТ.

Самостоятельная работа стимулирует студентов в процессе оформления отчетов и анализе результатов лабораторных работ, выполнении расчетно-графических работ, при подготовке к контрольным работам и итоговой аттестации.

6 Учебно-методическое обеспечение самостоятельной работы обучающихся

Представлено в приложении 1.

7 Оценочные средства для проведения промежуточной аттестации

Представлены в приложении 2.

8 Учебно-методическое и информационное обеспечение дисциплины

а) Основная литература:

1. Епифанов, А. П. Электрические машины : учебник / А. П. Епифанов, Г. А. Епифанов. – Санкт-Петербург : Лань, 2022. – 300 с. – ISBN 978-5-8114-2637-9. – Текст : электронный // Лань : электронно-библиотечная система. – URL: <https://e.lanbook.com/book/209984> (дата обращения: 23.04.2026). – Режим доступа: для авториз. пользователей.

2. Ванурин, В. Н. Электрические машины / В. Н. Ванурин. – 3-е изд., испр. – Санкт-Петербург : Лань, 2022. – 304 с. – ISBN 978-5-507-44500-4. – Текст : электронный // Лань : электронно-библиотечная система. – URL: <https://e.lanbook.com/book/230381> (дата обращения: 23.04.2026). – Режим доступа: для авториз. пользователей.

б) Дополнительная литература:

1. Афанасьев, А. Ю. Теоретические основы электротехники : учебное пособие / А. Ю. Афанасьев. – Москва ; Вологда : Инфра-Инженерия, 2023. – 208 с. – ISBN 978-5-9729-1387-9. – Текст : электронный. – URL: <https://znanium.ru/catalog/product/2100412> (дата обращения: 23.04.2026). – Режим доступа: по подписке.

2. Лавров, А. Г. Силовые трансформаторы и автотрансформаторы : учебник для вузов / А. Г. Лавров. – Санкт-Петербург : Лань, 2026. – 252 с. – ISBN 978-5-507- 54270-3. – Текст : электронный // Лань : электронно-библиотечная система. – URL: <https://e.lanbook.com/book/516068> (дата обращения: 23.04.2026). – Режим доступа: для авториз. пользователей.

3. Шишкин, В. П. Электрические машины и микромашины. Задачи : учебное пособие / В. П. Шишкин. – Москва ; Вологда : Инфра-Инженерия, 2024. – 184 с. – ISBN 978-5-9729-1668-9. – Текст : электронный. – URL: <https://znanium.ru/catalog/product/2173258> (дата обращения: 23.04.2026). – Режим доступа: по подписке.

4. Саттаров, Р. Р. Электрические машины в примерах и задачах : учебное пособие / Р. Р. Саттаров, Т. Р. Терегулов, А. Р. Валеев. – Москва ; Вологда : Инфра-Инженерия, 2024. – 132 с. – ISBN 978-5-9729-1982-6. – Текст : электронный. – URL: <https://znanium.ru/catalog/product/2173255> (дата обращения: 23.04.2026). – Режим доступа: по подписке.

в) Методические указания:

Методические указания приведены в Приложении 3 к РПД.

г) Программное обеспечение и Интернет-ресурсы:

Программное обеспечение

Наименование ПО	№ договора	Срок действия лицензии
7Zip	свободно распространяемое	бессрочно
LibreOffice	свободно распространяемое	бессрочно
Браузер Yandex	свободно распространяемое	бессрочно
Calculate Linux Desktop Xfce	свободно распространяемое ПО	бессрочно
Linux Calculate	свободно распространяемое	бессрочно
АСКОН Компас	Д-1082-22 от 01.12.2022	бессрочно
Ред ОС	Сертификат №01-04\22 от 06.05.2022	06.05.2025
AdobeReader	свободно распространяемое	бессрочно

Профессиональные базы данных и информационные справочные системы

Название курса	Ссылка
Электронные ресурсы библиотеки МГТУ им. Г.И. Носова	URL: https://host.megaprolib.net/MP0109/Web
Российская Государственная библиотека. Каталоги	URL: https://www.rsl.ru/ru/4readers/catalogues/
Федеральное государственное бюджетное учреждение «Федеральный институт промышленной собственности»	URL: http://www1.fips.ru/
Национальная информационно-аналитическая система – Российский индекс научного цитирования	URL: https://elibrary.ru/
Электронная база периодических изданий ООО «ИВИС»	URL: https://eivis.ru/

9 Материально-техническое обеспечение дисциплины (модуля)

Материально-техническое обеспечение дисциплины включает:

1. Учебная аудитория для проведения занятий лекционного типа.

Оснащение аудитории: мультимедийные средства хранения, передачи и представления информации.

2. Учебная аудитория для проведения лабораторных работ: лаборатория электрических машин (ауд. 361).

Оснащение аудитории: универсальные лабораторные установки для исследования электрических машин, измерительные приборы для выполнения лабораторных работ.

3. Учебная аудитория для проведения практических занятий, групповых и индивидуальных консультаций, текущего контроля и промежуточной аттестации.

Оснащение аудитории: доска, мультимедийный проектор, экран.

4. Учебные аудитории для выполнения курсового проектирования, помещения для самостоятельной работы обучающихся.

Оснащение аудитории: персональные компьютеры с выходом в Интернет и с доступом в электронную информационно-образовательную среду университета.

5. Помещение для хранения и профилактического обслуживания учебного оборудования (ауд. 356).

Оснащение аудитории: стеллажи, сейфы для хранения учебного оборудования, инструменты для ремонта лабораторного оборудования.

ПРИЛОЖЕНИЕ 1

(обязательное)

Учебно-методическое обеспечение самостоятельной работы обучающихся

По дисциплине «Электрические машины» предусмотрена аудиторная и внеаудиторная самостоятельная работа обучающихся.

Аудиторная самостоятельная работа студентов предполагает выполнение аудиторных контрольных работ и подготовку к сдаче отчётов о лабораторных работах. Аудиторные контрольные работы могут проводиться в форме тестирования.

Внеаудиторная самостоятельная работа заключается в изучении учебной и научно-технической литературы по данной дисциплине, составлении конспекта лекций, оформлении отчётов о лабораторных работах.

Пример аудиторной контрольной работы в форме тестирования

Укажите условия включения силовых трансформаторов на параллельную работу:

- 1. Равенство коэффициентов трансформации.
- 2. Равенство напряжений короткого замыкания.
- 3. Одинаковые группы соединения обмоток.
- 4. Все ответы верны.
- 5. Все ответы неверны.

Верно ли определение: "Трансформатором называется статический электромагнитный аппарат, предназначенный для преобразования одной (первичной) системы переменного тока в другую (вторичную), имеющую другие характеристики, в частности другое напряжение"?

- Верно
- Неверно

Укажите основные способы регулирования частоты вращения двигателей постоянного тока независимого возбуждения:

- 1. Реостатное регулирование.
- 2. Регулирование напряжения якорной цепи.
- 3. Изменение числа пар полюсов.
- 4. Ослабление магнитного потока.
- 5. Частотное регулирование.

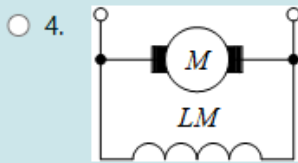
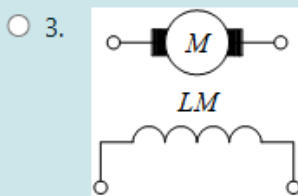
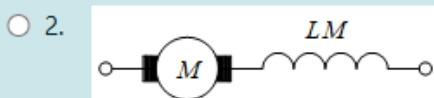
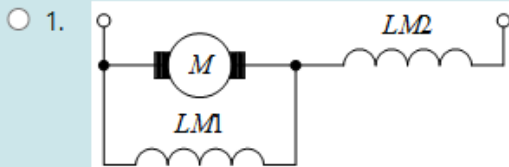
Рассчитать сопротивление обмотки якоря генератора постоянного тока, если в его якорной цепи протекает ток 5 А, угловая скорость первичного двигателя - 100 рад/с, магнитный поток $k\Phi$ - 2 Вб. Напряжение на нагрузке при этом составляет 180 В. Ответ дать в Омх.

Ответ:

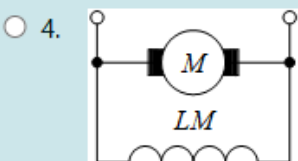
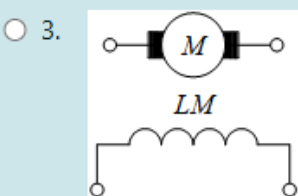
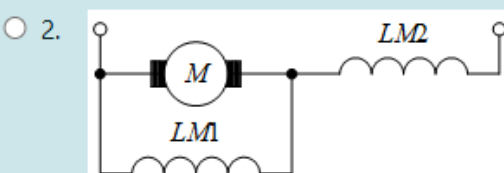
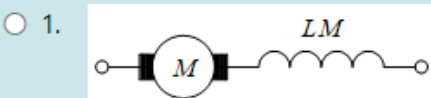
Найти приблизительное значение номинального тока вторичной обмотки силового трансформатора, если номинальный ток первичной обмотки составляет 10 А, а номинальные напряжения первичной и вторичной обмоток равны 220 В и 110 В соответственно. Ответ записать в Амперах.

Ответ:

На каком рисунке изображена электрическая схема двигателя постоянного тока смешанного возбуждения?

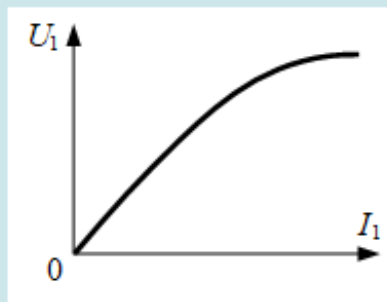


На каком рисунке показана электрическая схема двигателя постоянного тока независимого возбуждения?

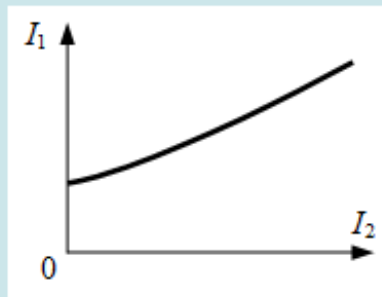


На каком рисунке показана характеристика холостого хода трансформатора?

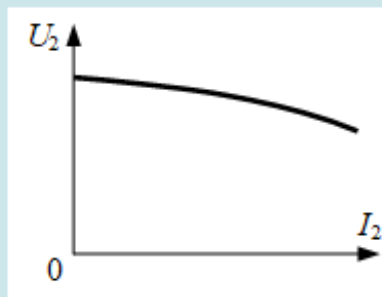
1.



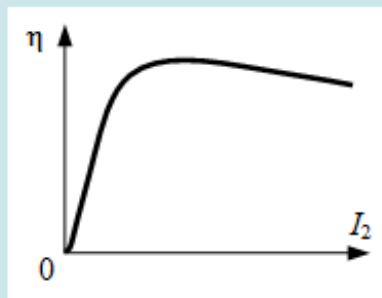
2.



3.



4.



Что из перечисленного **не относится** к потерям энергии в электрических машинах постоянного тока?

- 1. Потери короткого замыкания.
- 2. Потери в щёточно-коллекторном узле.
- 3. Потери в проводниках обмотки якоря.
- 4. Механические потери.
- 5. Потери от вихревых токов.

Верно ли утверждение: "Электрическая машина постоянного тока независимого возбуждения имеет в своём составе три обмотки: статора, возбуждения и демпферную"?

- Верно
 Неверно

Перечень контрольных вопросов для подготовки к зачёту по дисциплине:

Основные понятия.

1. Какими основными законами описываются физические процессы, происходящие в электрических машинах?
2. Что называется машиной постоянного тока?
3. Что называется машиной переменного тока?
4. Что такое трансформатор?
5. Назначение обмотки якоря.
6. Назначение индуктора.

Машины постоянного тока.

1. Конструкции и принципы действия машин постоянного тока.
2. Классификация обмоток якоря машины постоянного тока.
3. Классификация обмоток статора машины постоянного тока.
4. Электромагнитный момент МПТ.
5. Физические основы коммутации в машинах постоянного тока.
6. Анализ причин искрения. Виды коммутации.
7. Классификация и основные характеристики генераторов постоянного тока.
8. Условия самовозбуждения генераторов параллельного и смешанного возбуждения.
9. Характеристики генераторов постоянного тока независимого возбуждения.
10. Характеристики генераторов постоянного тока с самовозбуждением.
11. Классификация и основные характеристики двигателей постоянного тока
12. Пуск и реверсирование двигателей постоянного тока.
13. Регулирование частоты вращения двигателей постоянного тока.
14. Торможение двигателей постоянного тока.
15. Условия устойчивой работы двигателей постоянного тока.
16. Универсальные коллекторные машины.
17. Специальные машины постоянного тока.
18. Конструкции и принцип действия гистерезисного двигателя.
19. Разновидности конструкций шаговых двигателей.
20. Классификация микроэлектродвигателей.

Трансформаторы.

1. Основные понятия о трансформаторах.
2. Конструкция однофазного двухобмоточного трансформатора.
3. Разновидности магнитопроводов однофазных трансформаторов.
4. Принцип действия однофазного трансформатора.
5. Конструкции обмоток однофазного трансформатора.
6. Явления, возникающие при намагничивании сердечников трансформаторов.
7. Расчет магнитной цепи однофазного трансформатора.
8. Индуктивности обмоток трансформатора и электромагнитное рассеяние.
9. Схемы замещения однофазного трансформатора.
10. Уравнения напряжения трансформатора.
11. Режим холостого хода.
12. Режим короткого замыкания.
13. Работа однофазного трансформатора под нагрузкой.
14. КПД однофазного трансформатора.

15. Параллельная работа однофазных трансформаторов.
16. Конструкция трехфазного двухобмоточного трансформатора.
17. Разновидности магнитопроводов трехфазных трансформаторов.
18. Принцип работы трехфазного трансформатора.
19. Конструкции обмоток трехфазного трансформатора.
20. Схемы и группы соединений обмоток трехфазных трансформаторов.
21. Расчет магнитной цепи трехфазного трансформатора.
22. Конструкции и способы охлаждения трехфазных трансформаторов.
23. Схемы замещения трехфазного трансформатора.
24. Уравнения напряжения трехфазного трансформатора.
25. Режим холостого хода трехфазного трансформатора.
26. Режим короткого замыкания трехфазного.
27. Работа трехфазного трансформатора под нагрузкой.
28. КПД трехфазного трансформатора.
29. Параллельная работа трехфазных трансформаторов.
30. Классификация трансформаторов специального назначения.
31. Однофазные автотрансформаторы (конструкция и принцип работы).
32. Трехфазные автотрансформаторы.
33. Измерительные трансформаторы тока.
34. Измерительные трансформаторы напряжения.

Асинхронные машины.

1. Классификация асинхронных двигателей.
2. Устройство и принцип работы асинхронного двигателя.
3. Трехфазный асинхронный двигатель с короткозамкнутым ротором.
4. Асинхронный двигатель с фазным ротором.
5. Скорость вращения магнитного поля и скольжение.
6. Однофазные асинхронные двигатели.
7. Пуск и реверсирование асинхронных двигателей.
8. Работа трехфазного двигателя в однофазной сети.
9. Вращающие моменты и механические характеристики асинхронной машины.
10. Асинхронные короткозамкнутые двигатели с улучшенными пусковыми характеристиками.
11. Характеристики холостого хода асинхронного двигателя.
12. Рабочие характеристики асинхронного двигателя.
13. Регулирование частоты вращения асинхронных двигателей.
14. Особые виды и режимы работы многофазных асинхронных машин.
15. Типичные конструкции статоров трёхфазных асинхронных двигателей.
16. Типичные конструкции роторов трёхфазных асинхронных двигателей.
17. Типичные конструкции статоров однофазных асинхронных двигателей.
18. Энергетическая диаграмма асинхронного двигателя.
19. Коэффициент полезного действия и классификация потерь мощности.

Синхронные машины

1. Устройство и принцип работы синхронного генератора.
2. Конструкции роторов (якорей) трехфазных синхронных генераторах.
3. Самовозбуждение трехфазного синхронного генератора.
4. Характеристика холостого хода синхронного генератора.
5. Внешняя характеристика синхронного генератора.
6. Регулировочная характеристика синхронного генератора.
7. Симметричные установившиеся режимы работы синхронных генераторов.
8. Несимметричные режимы работы синхронных генераторов.
9. Параллельная работа синхронных генераторов.
10. Работа синхронной машины в режиме двигателя.

11. Устройство и принцип работы синхронного двигателя.
 12. Магнитные поля и основные электромагнитные параметры обмоток синхронных машин.
 13. Пуск и остановка синхронного двигателя.
 14. Рабочие характеристики синхронного двигателя.
 15. Конструкции синхронных микродвигателей и их применение.
 16. Конструкции роторов и статоров в синхронных микродвигателях.
 17. Конструктивные разновидности синхронных реактивных двигателей.
 18. Устройство и принцип действия редукторного двигателя.
- 37
19. Конструкции и принцип действия гистерезисного двигателя.
 20. Разновидности конструкций шаговых двигателей.
 21. Синхронные компенсаторы.

ПРИЛОЖЕНИЕ 2

(обязательное)

Оценочные средства для проведения промежуточной аттестации

а) Планируемые результаты обучения и оценочные средства для проведения промежуточной аттестации:

Код индикатора	Индикатор достижения компетенций	Оценочные средства
ОПК-4 Способен использовать методы анализа и моделирования электрических цепей и электрических машин		
ОПК-4.1	Способен оценивать параметры нормальных и аварийных режимов электрических цепей и машин с использованием методов анализа и моделирования	Вопросы для подготовки к зачёту: Основные понятия. 1. Какими основными законами описываются физические процессы, происходящие в электрических машинах? 2. Что называется машиной постоянного тока? 3. Что называется машиной переменного тока? 4. Что такое трансформатор? 5. Назначение обмотки якоря. 6. Назначение индуктора. Машины постоянного тока. 1. Конструкции и принципы действия машин постоянного тока. 2. Классификация обмоток якоря машины постоянного тока. 3. Классификация обмоток статора машины постоянного тока. 4. Электромагнитный момент МПТ. 5. Физические основы коммутации в машинах постоянного тока. 6. Анализ причин искрения. Виды коммутации. 7. Классификация и основные характеристики генераторов постоянного тока. 8. Условия самовозбуждения генераторов параллельного и смешанного возбуждения. 9. Характеристики генераторов постоянного тока независимого возбуждения. 10. Характеристики генераторов постоянного тока с самовозбуждением. 11. Классификация и основные характеристики двигателей постоянного тока 12. Пуск и реверсирование двигателей постоянного тока. 13. Регулирование частоты вращения двигателей постоянного тока. 14. Торможение двигателей постоянного тока. 15. Условия устойчивой работы двигателей постоянного тока. 16. Универсальные коллекторные машины. 17. Специальные машины постоянного тока.

Код индикатора	Индикатор достижения компетенций	Оценочные средства
		<p>18. Конструкции и принцип действия гистерезисного двигателя.</p> <p>19. Разновидности конструкций шаговых двигателей.</p> <p>20. Классификация микроэлектродвигателей.</p> <p>Трансформаторы.</p> <p>1. Основные понятия о трансформаторах.</p> <p>2. Конструкция однофазного двухобмоточного трансформатора.</p> <p>3. Разновидности магнитопроводов однофазных трансформаторов.</p> <p>4. Принцип действия однофазного трансформатора.</p> <p>5. Конструкции обмоток однофазного трансформатора.</p> <p>6. Явления, возникающие при намагничивании сердечников трансформаторов.</p> <p>7. Расчет магнитной цепи однофазного трансформатора.</p> <p>8. Индуктивности обмоток трансформатора и электромагнитное рассеяние.</p> <p>9. Схемы замещения однофазного трансформатора.</p> <p>10. Уравнения напряжения трансформатора.</p> <p>11. Режим холостого хода.</p> <p>12. Режим короткого замыкания.</p> <p>13. Работа однофазного трансформатора под нагрузкой.</p> <p>14. КПД однофазного трансформатора.</p> <p>15. Параллельная работа однофазных трансформаторов.</p> <p>16. Конструкция трехфазного двухобмоточного трансформатора.</p> <p>17. Разновидности магнитопроводов трехфазных трансформаторов.</p> <p>18. Принцип работы трехфазного трансформатора.</p> <p>19. Конструкции обмоток трехфазного трансформатора.</p> <p>20. Схемы и группы соединений обмоток трехфазных трансформаторов.</p> <p>21. Расчет магнитной цепи трехфазного трансформатора.</p> <p>22. Конструкции и способы охлаждения трехфазных трансформаторов.</p> <p>23. Схемы замещения трехфазного трансформатора.</p> <p>24. Уравнения напряжения трехфазного трансформатора.</p> <p>25. Режим холостого хода трехфазного трансформатора.</p> <p>26. Режим короткого замыкания трехфазного.</p> <p>27. Работа трехфазного трансформатора под нагрузкой.</p> <p>28. КПД трехфазного трансформатора.</p> <p>29. Параллельная работа трехфазных трансформаторов.</p> <p>30. Классификация трансформаторов специального назначения.</p>

Код индикатора	Индикатор достижения компетенций	Оценочные средства
		31. Однофазные автотрансформаторы (конструкция и принцип работы). 32. Трёхфазные автотрансформаторы. 33. Измерительные трансформаторы тока. 34. Измерительные трансформаторы напряжения.
ОПК-4.2	Разрабатывает мероприятия по улучшению показателей качества работы электрических цепей и машин	<p>Вопросы для подготовки к зачёту:</p> <p>Асинхронные машины.</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. Классификация асинхронных двигателей. 2. Устройство и принцип работы асинхронного двигателя. 3. Трёхфазный асинхронный двигатель с короткозамкнутым ротором. 4. Асинхронный двигатель с фазным ротором. 5. Скорость вращения магнитного поля и скольжение. 6. Однофазные асинхронные двигатели. 7. Пуск и реверсирование асинхронных двигателей. 8. Работа трёхфазного двигателя в однофазной сети. 9. Вращающие моменты и механические характеристики асинхронной машины. 10. Асинхронные короткозамкнутые двигатели с улучшенными пусковыми характеристиками. 11. Характеристики холостого хода асинхронного двигателя. 12. Рабочие характеристики асинхронного двигателя. 13. Регулирование частоты вращения асинхронных двигателей. 14. Особые виды и режимы работы многофазных асинхронных машин. 15. Типичные конструкции статоров трёхфазных асинхронных двигателей. 16. Типичные конструкции роторов трёхфазных асинхронных двигателей. 17. Типичные конструкции статоров однофазных асинхронных двигателей. 18. Энергетическая диаграмма асинхронного двигателя. 19. Коэффициент полезного действия и классификация потерь мощности. <p>Синхронные машины</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. Устройство и принцип работы синхронного генератора. 2. Конструкции роторов (якорей) трёхфазных синхронных генераторах. 3. Самовозбуждение трёхфазного синхронного генератора. 4. Характеристика холостого хода синхронного генератора. 5. Внешняя характеристика синхронного генератора. 6. Регулировочная характеристика синхронного генератора.

Код индикатора	Индикатор достижения компетенций	Оценочные средства
		<p>7. Симметричные установившиеся режимы работы синхронных генераторов.</p> <p>8. Несимметричные режимы работы синхронных генераторов.</p> <p>9. Параллельная работа синхронных генераторов.</p> <p>10. Работа синхронной машины в режиме двигателя.</p> <p>11. Устройство и принцип работы синхронного двигателя.</p> <p>12. Магнитные поля и основные электромагнитные параметры обмоток синхронных машин.</p> <p>13. Пуск и остановка синхронного двигателя.</p> <p>14. Рабочие характеристики синхронного двигателя.</p> <p>15. Конструкции синхронных микродвигателей и их применение.</p> <p>16. Конструкции роторов и статоров в синхронных микродвигателях.</p> <p>17. Конструктивные разновидности синхронных реактивных двигателей.</p> <p>18. Устройство и принцип действия редукторного двигателя.</p> <p>37</p> <p>19. Конструкции и принцип действия гистерезисного двигателя.</p> <p>20. Разновидности конструкций шаговых двигателей.</p> <p>21. Синхронные компенсаторы.</p>

б) Порядок проведения промежуточной аттестации, показатели и критерии оценивания:

Промежуточная аттестация по дисциплине «Электрические машины» проводится в форме зачёта и включает теоретические вопросы, позволяющие оценить уровень усвоения знаний и сформированность компетенций обучающихся.

Зачёт по данной дисциплине проводится в форме устного опроса и включает 2-3 теоретических вопроса.

Критерии оценки:

– на оценку **«зачтено»** – обучающийся демонстрирует пороговый уровень сформированности компетенций: в ходе контрольных мероприятий допускаются незначительные ошибки, возможно отсутствие отдельных знаний, умений, навыков, затруднения при оперировании знаниями и умениями при их переносе на новые ситуации.

– на оценку **«не зачтено»** – обучающийся не может показать знания на уровне воспроизведения и объяснения информации, не может показать интеллектуальные навыки решения простых задач.

ПРИЛОЖЕНИЕ 3

(обязательное)

Методические указания для проведения лабораторных работ

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА №1 ИССЛЕДОВАНИЕ ОДНОФАЗНОГО ТРАНСФОРМАТОРА

1. Цель работы

1. Исследовать работу однофазного трансформатора в режимах холостого хода, короткого замыкания и активной нагрузки.
2. Получить рабочие характеристики однофазного трансформатора.
3. Оценить свойства и характеристики однофазного трансформатора из анализа полученных результатов.

2. Описание лабораторной установки

Работа выполняется на универсальном лабораторном стенде. Электрические схемы лабораторной установки показаны на **рис. 1, 2 и 3**. Схемы собирают последовательно, с проведением соответствующих замеров и заполнением опытными данными таблиц. Для измерений напряжений, токов и мощностей применяют стрелочные приборы в составе стенда, а также цифровой мультиметр.

При снятии внешней характеристики нагрузкой трансформатора является активное сопротивление $R_{\text{нагр}}$ (**рис. 3**). Выключатель $B_{\text{нагр}}$ должен быть замкнут; ступенчато изменяя $R_{\text{нагр}}$ можно получить четыре значения сопротивления нагрузки.

3. Программа работы

1. Ознакомиться с расположением основного электрооборудования и измерительных приборов лабораторного стенда. Занести технические характеристики применяемого в данной работе оборудования и приборов в **табл. 1**. Паспортные данные двигателей и трансформаторов указаны на передней панели стенда.

Таблица 1

Технические характеристики основного электрооборудования и измерительных приборов

Однофазный трансформатор					
Тип	Номинальная мощность, ВА	Номинальное напряжение первичной обмотки, В	Номинальное напряжение вторичной обмотки, В	Номинальный ток первичной обмотки, А	Номинальный ток вторичной обмотки, А
	$S_{\text{т.н}}$	$U_{1.\text{н}}$	$U_{2.\text{н}}$	$I_{1.\text{н}}$	$I_{2.\text{н}}$
Измерительные приборы					
Обозначение	Тип прибора	Тип измерительной системы	Предел измерения	Цена деления	Класс точности
A_3					
A_4					
A_5					

V_2				
V_3				
W_1				
W_2				

2. Собрать электрическую схему для проведения опыта холостого хода по **рис. 1**.

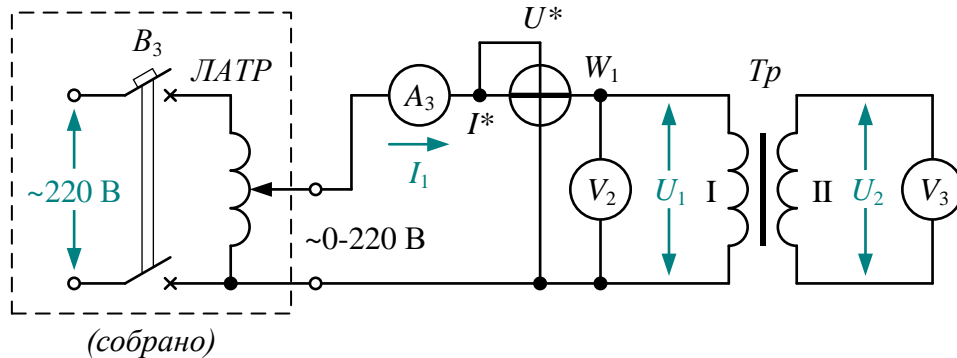


Рис. 1. Электрическая схема для проведения опыта холостого хода

3. После проверки собранной схемы преподавателем включить автоматический выключатель B_3 . Перевести ручку лабораторного автотрансформатора регулируемого (ЛАТР) в минимальное (крайнее левое) положение. Изменяя выходное напряжение ЛАТРа в диапазоне от нуля до $1,2U_{1.н.}$, зафиксировать в **табл. 2** значения напряжений первичной U_1 и вторичной U_2 обмоток; тока первичной обмотки I_1 . При этом следует провести 15-20 замеров. В случае недостаточной чувствительности стрелочных приборов воспользоваться мультиметром.

4. Установить номинальное напряжение первичной обмотки $U_{1.н.}$; измерить напряжение вторичной обмотки, ток первичной обмотки (ток холостого хода) и активную мощность, потребляемую трансформатором (потери холостого хода). Полученные результаты занести в **табл. 2**.

Таблица 2

Экспериментальные данные опыта холостого хода

Номер точки	Напряжение первичной обмотки, В	Напряжение вторичной обмотки, В	Ток первичной обмотки, мА
	U_1	U_2	I_1
	V_2	V_3	A_3
1			
2			
...			
20			
Номинальное напряжение первичной обмотки, В		$U_{1.н.}$	V_2
Напряжение вторичной обмотки при холостом ходе, В		$U_{2.0}$	V_3
Ток холостого хода, мА		I_0	A_3
Потери холостого хода, Вт		ΔP_0	W_1

5. Собрать электрическую схему для проведения опыта короткого замыкания по **рис. 2**.

6. Включить автоматический выключатель B_3 . Перевести ручку ЛАТРа в минимальное (крайнее левое) положение. На выходе ЛАТРа установить такое напряжение, при котором по вторичной обмотке трансформатора протекает номинальный ток $I_{2.н.}$. Измерить напряжение на первичной обмотке (напряжение короткого замыкания), ток первичной обмотки, активную мощность, потребляемую трансформатором (потери короткого замыкания); внести полученные

значения в табл. 3. Если имеет место превышение предела измерения тока вторичной обмотки прибором A_5 , измерить ток мультиметром. **Не допускать длительной (более 20 с) работы трансформатора в рассматриваемом режиме. В случае протекания по первичной обмотке токов выше 5 А, эксперимент немедленно прекратить.**

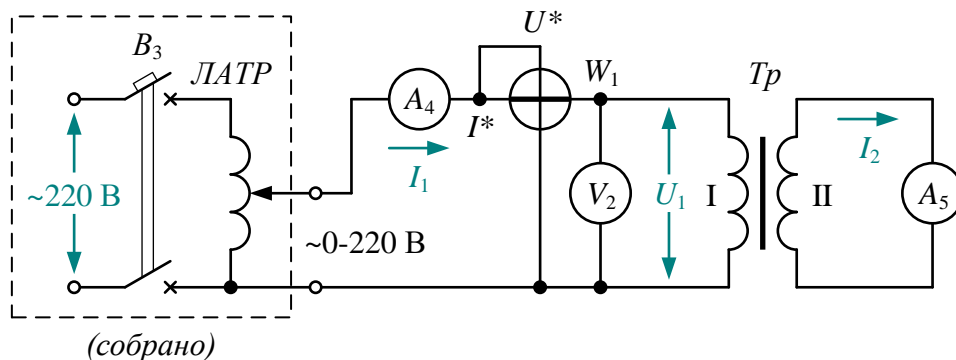


Рис. 2. Электрическая схема для проведения опыта короткого замыкания

Таблица 3

Экспериментальные данные опыта короткого замыкания

Номинальный ток вторичной обмотки, А	Ток первичной обмотки в режиме короткого замыкания, А	Напряжение короткого замыкания, В	Потери короткого замыкания, Вт
$I_{2.н}$	$I_{1.к}$	U_k	ΔP_k
A_5	A_4	V_2	W_1

7. Собрать электрическую схему по рис. 3 для исследования трансформатора в нагрузочном режиме.

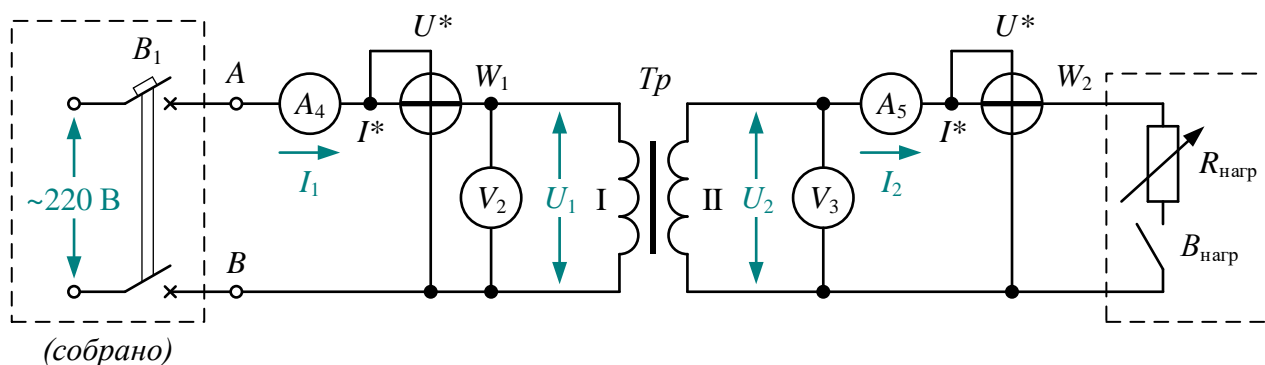


Рис. 3. Электрическая схема для исследования работы трансформатора в нагрузочном режиме

8. Включить автоматический выключатель B_1 . Измерить токи, напряжения, активные мощности первичной и вторичной обмоток трансформатора при изменении сопротивления нагрузки $R_{нагр}$. Результаты измерений занести в табл. 4. Первую запись провести при отключенном выключателе $B_{нагр}$.

4. Обработка результатов эксперимента

1. По данным **табл. 2** построить характеристику холостого хода трансформатора $U_1 = f(I_1)$. Отметить на ней точку номинального напряжения $U_1 = U_{1.н.}$

2. Определить коэффициент трансформации K_T и $\cos\varphi$ первичной обмотки по результатам опыта холостого хода (**табл. 2**):

$$K_T = \frac{U_{1.н.}}{U_{2.0}}; \quad (1)$$

$$\cos\varphi_{1.0} = \frac{\Delta P_0}{U_{1.н.} I_0}. \quad (2)$$

Результаты расчётов по формулам (1) и (2) занести в **табл. 5**.

3. Рассчитать коэффициент загрузки β , КПД η и $\cos\varphi$ первичной обмотки трансформатора в нагрузочном режиме (**табл. 4**) для всех положений переключателя нагрузки $R_{нагр}$:

$$\beta = \frac{I_2}{I_{2.н.}}; \quad (3)$$

$$\eta = \frac{P_2}{P_1}; \quad (4)$$

$$\cos\varphi_1 = \frac{P_1}{U_1 I_1}. \quad (5)$$

Внести полученные значения в **табл. 4**. Построить рабочие характеристики трансформатора $U_2 = f(\beta)$; $I_1 = f(\beta)$; $\eta = f(\beta)$; $\cos\varphi_1 = f(\beta)$.

4. Экспериментально полученные значения тока холостого хода и напряжения короткого замыкания перевести в проценты и записать в **табл. 5**:

$$I_{0. \%} = \frac{I_0}{I_{1.н.}} 100\%; \quad (6)$$

$$U_{к. \%} = \frac{U_{к.}}{U_{1.н.}} 100\%. \quad (7)$$

5. Рассчитать полное Z_T , активное R_T и индуктивное X_T сопротивления трансформатора:

$$Z_T = \frac{U_{к. \%}}{100} \frac{U_{2.н.}}{I_{2.н.}}; \quad (8)$$

$$R_T = \frac{\Delta P_{к.}}{I_{2.н.}^2}; \quad (9)$$

$$X_T = \sqrt{Z_T^2 - R_T^2}. \quad (10)$$

Величины сопротивлений Z_T , R_T и X_T занести в **табл. 5**.

6. Записать в **табл. 5** определённые по опытам холостого хода и короткого замыкания величины потерь холостого хода ΔP_0 и короткого замыкания $\Delta P_{к.}$

7. Сделать выводы по результатам работы, выполнить анализ полученных характеристик.

Таблица 5

Экспериментально определённые параметры трансформатора

Наименование	Обозначение	Величина	Размерность
Коэффициент трансформации	K_T		—
$\cos\varphi$ первичной обмотки при холостом ходе	$\cos\varphi_{1.0}$		
Ток холостого хода	$I_{0.\%}$		%
Напряжение короткого замыкания	$U_{к.\%}$		
Потери холостого хода	ΔP_0		Вт
Потери короткого замыкания	ΔP_k		
Полное сопротивление трансформатора	Z_T		Ом
Активное сопротивление трансформатора	R_T		
Индуктивное сопротивление трансформатора	X_T		

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА №2 ИССЛЕДОВАНИЕ ГЕНЕРАТОРА ПОСТОЯННОГО ТОКА НЕЗАВИСИМОГО ВОЗБУЖДЕНИЯ

1. Цель работы

4. Изучить основные свойства генератора постоянного тока независимого возбуждения.
5. Получить характеристику холостого хода, внешнюю и регулировочную характеристики генератора постоянного тока независимого возбуждения.

2. Описание лабораторной установки

Работа выполняется на универсальном лабораторном стенде. Электрическая схема лабораторной установки для исследования характеристик генератора постоянного тока показана на рис. 1.

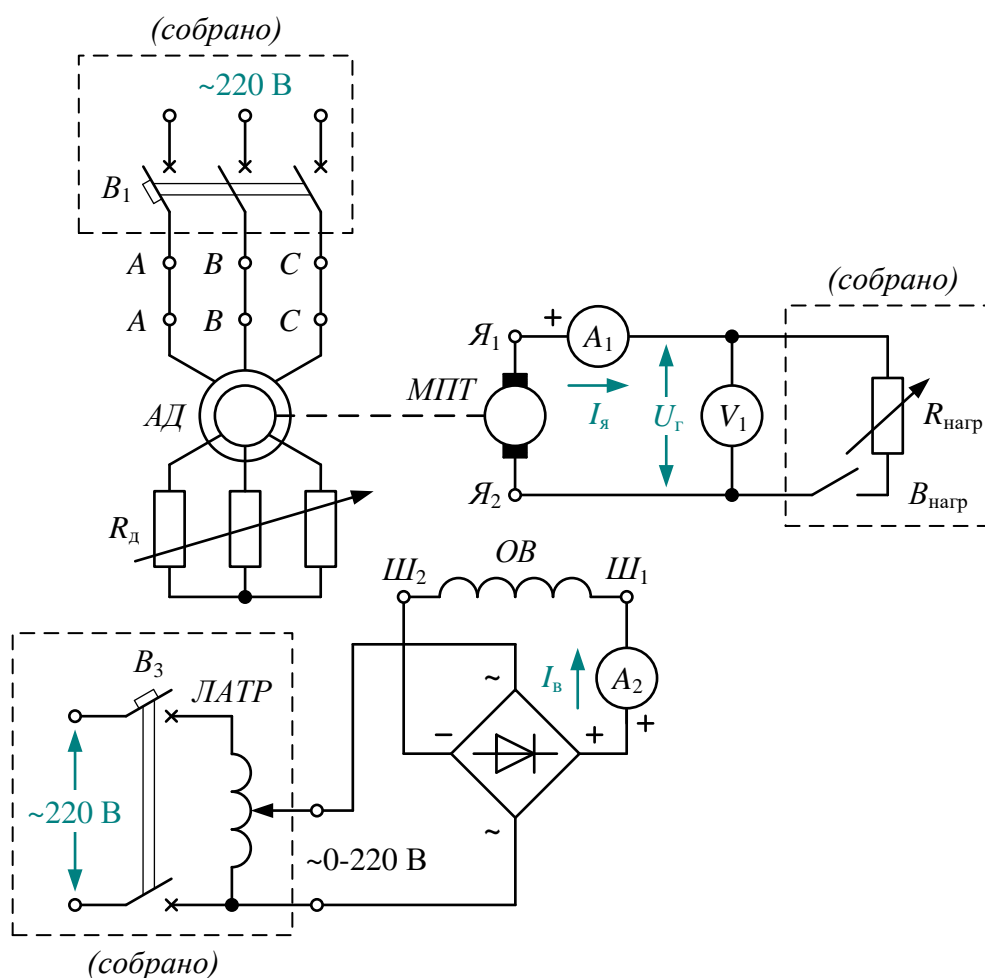


Рис. 1. Электрическая схема лабораторной установки для исследования характеристик генератора постоянного тока независимого возбуждения

Машина постоянного тока $МПТ$ приводится в движение асинхронным двигателем $АД$ с фазным ротором и работает как генератор. Обмотка якоря $МПТ$ ($Я_1, Я_2$) подключена к нагрузочному сопротивлению $R_{\text{нагр}}$. Обмотка возбуждения генератора $ОВ$ ($\text{Ш}_1, \text{Ш}_2$) получает питание от регулируемого источника постоянного напряжения ($ЛАТР$ и мостовой выпрямитель). Амперметрами A_1 и A_2 измеряют токи якоря $I_{\text{я}}$ и возбуждения $I_{\text{в}}$ соответственно, вольтметром V_1 – напряжение генератора $U_{\text{Г}}$. Для определения частоты вращения электромашинного агрегата

предназначен тахогенератор (на схеме не показан); сигнал с него подаётся на стрелочный вольтметр, проградуированный в об/мин и рад/с.

3. Программа работы

9. Ознакомиться с расположением основного электрооборудования и измерительных приборов лабораторного стенда. Занести технические характеристики применяемого в данной работе оборудования и приборов в **табл. 1**. Паспортные данные двигателей и трансформаторов указаны на передней панели стенда.

Таблица 1

Технические характеристики основного электрооборудования и измерительных приборов

Генератор постоянного тока независимого возбуждения					
Тип	Номинальная мощность, кВт	Номинальное напряжение генератора, В	Номинальный ток якоря, А	Номинальный ток возбуждения, А	
	P_n	$U_{г.н}$	$I_{я.н}$	$I_{в.н}$	
Измерительные приборы					
Обозначение	Тип прибора	Тип измерительной системы	Предел измерения	Цена деления	Класс точности
A_1					
A_2					
V_1					

10. Собрать электрическую схему лабораторной установки по **рис. 1**.

11. После проверки собранной схемы преподавателем установить реостат R_d в цепи ротора асинхронного двигателя в положение «1» (добавочное сопротивление полностью введено). Включить автоматический выключатель B_1 , перевести переключатель асинхронного двигателя в положение «вкл.». Плавно разогнать двигатель до номинальной скорости, постепенно переводя переключатель R_d из положения «1» в положение «4». Установившуюся частоту вращения электромашинного агрегата записать в **табл. 2**.

12. Включить автоматический выключатель B_3 . Перевести ручку лабораторного автотрансформатора регулируемого (ЛАТР) в минимальное (крайнее левое) положение.

13. Получить характеристику холостого хода генератора $U_g = f(I_a)$. Для этого необходимо плавно изменять ток возбуждения генератора от нуля до максимального значения при отключенном сопротивлении нагрузки $R_{нагр}$. Значения напряжения генератора, токов якоря и возбуждения при этом записать **табл. 2**. Всего выполнить 15-20 измерений.

14. Снять внешние характеристики генератора $U_g = f(I_a)$ при различных значениях тока возбуждения ($I_{в.н}$; $0,75I_{в.н}$; $0,5I_{в.н}$; $0,25I_{в.н}$). Нагрузку генератора изменять ступенчато переключателем $R_{нагр}$. При заданном токе возбуждения в каждом положении переключателя зафиксировать напряжение генератора и ток якоря в **табл. 3**.

15. Получить регулировочную характеристику генератора $I_b = f(I_a)$. При её снятии следует изменять ток возбуждения таким образом, чтобы при любой нагрузке (во всех положениях переключателя $R_{нагр}$) напряжение генератора оставалось постоянным и равным номинальному $U_g = U_{г.н}$. Полученные результаты занести в **табл. 4**.

Таблица 2

Экспериментальные данные характеристики холостого хода генератора постоянного тока независимого возбуждения

Частота вращения генератора, об/мин		n
Номер точки	Напряжение генератора, В	
	U_{Γ}	$I_{\text{в}}$
	V_1	A_2
1		
...		
20		

Таблица 3

Экспериментальные данные внешних характеристик генератора постоянного тока независимого возбуждения

Характеристика 1							
Ток возбуждения, А	$I_{\text{в}} = I_{\text{в.н}}$	A_2					
Положение переключателя $R_{\text{нагр}}$			0 (откл.)	1	2	3	4
Напряжение генератора, В	U_{Γ}	V_1					
Ток якоря, А	$I_{\text{я}}$	A_1					
Характеристика 2							
Ток возбуждения, А	$I_{\text{в}} = 0,75I_{\text{в.н}}$	A_2					
Положение переключателя $R_{\text{нагр}}$			0 (откл.)	1	2	3	4
Напряжение генератора, В	U_{Γ}	V_1					
Ток якоря, А	$I_{\text{я}}$	A_1					
Характеристика 3							
Ток возбуждения, А	$I_{\text{в}} = 0,5I_{\text{в.н}}$	A_2					
Положение переключателя $R_{\text{нагр}}$			0 (откл.)	1	2	3	4
Напряжение генератора, В	U_{Γ}	V_1					
Ток якоря, А	$I_{\text{я}}$	A_1					
Характеристика 4							
Ток возбуждения, А	$I_{\text{в}} = 0,25I_{\text{в.н}}$	A_2					
Положение переключателя $R_{\text{нагр}}$			0 (откл.)	1	2	3	4
Напряжение генератора, В	U_{Γ}	V_1					
Ток якоря, А	$I_{\text{я}}$	A_1					

Таблица 4

Экспериментальные данные регулировочной характеристики генератора постоянного тока независимого возбуждения

Положение переключателя $R_{\text{нагр}}$	Напряжение генератора, В		Ток якоря, А	Ток возбуждения, А
	$U_{\Gamma} = U_{\Gamma.н}$		$I_{\text{я}}$	$I_{\text{в}}$
	V_1		A_1	A_2
0 (откл.)				
1				
2				
3				
4				

4. Обработка результатов эксперимента

8. По данным **табл. 2** построить характеристику холостого хода генератора $U_{\Gamma} = f(I_{\text{в}})$. Отметить на ней точку номинального напряжения $U_{\Gamma} = U_{\Gamma.\text{н}}$.

9. По данным **табл. 3** построить внешние характеристики генератора $U_{\Gamma} = f(I_{\text{я}})$ при различном токе возбуждения.

10. По данным **табл. 4** построить регулировочную характеристику генератора $I_{\text{в}} = f(I_{\text{я}})$ при номинальном напряжении генератора.

11. Сделать выводы по результатам работы, выполнить анализ полученных характеристик.

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА №3 ИССЛЕДОВАНИЕ ДВИГАТЕЛЯ ПОСТОЯННОГО ТОКА НЕЗАВИСИМОГО ВОЗБУЖДЕНИЯ

1. Цель работы

6. Изучить способы регулирования скорости двигателей постоянного тока независимого возбуждения.
7. Получить скоростные характеристики двигателя постоянного тока независимого возбуждения при различных способах регулирования частоты вращения.
8. Оценить свойства двигателя постоянного тока из анализа полученных характеристик.

2. Описание лабораторной установки

Работа выполняется на универсальном лабораторном стенде. Электрическая схема лабораторной установки для исследования характеристик двигателя постоянного тока независимого возбуждения показана на **рис. 1**.

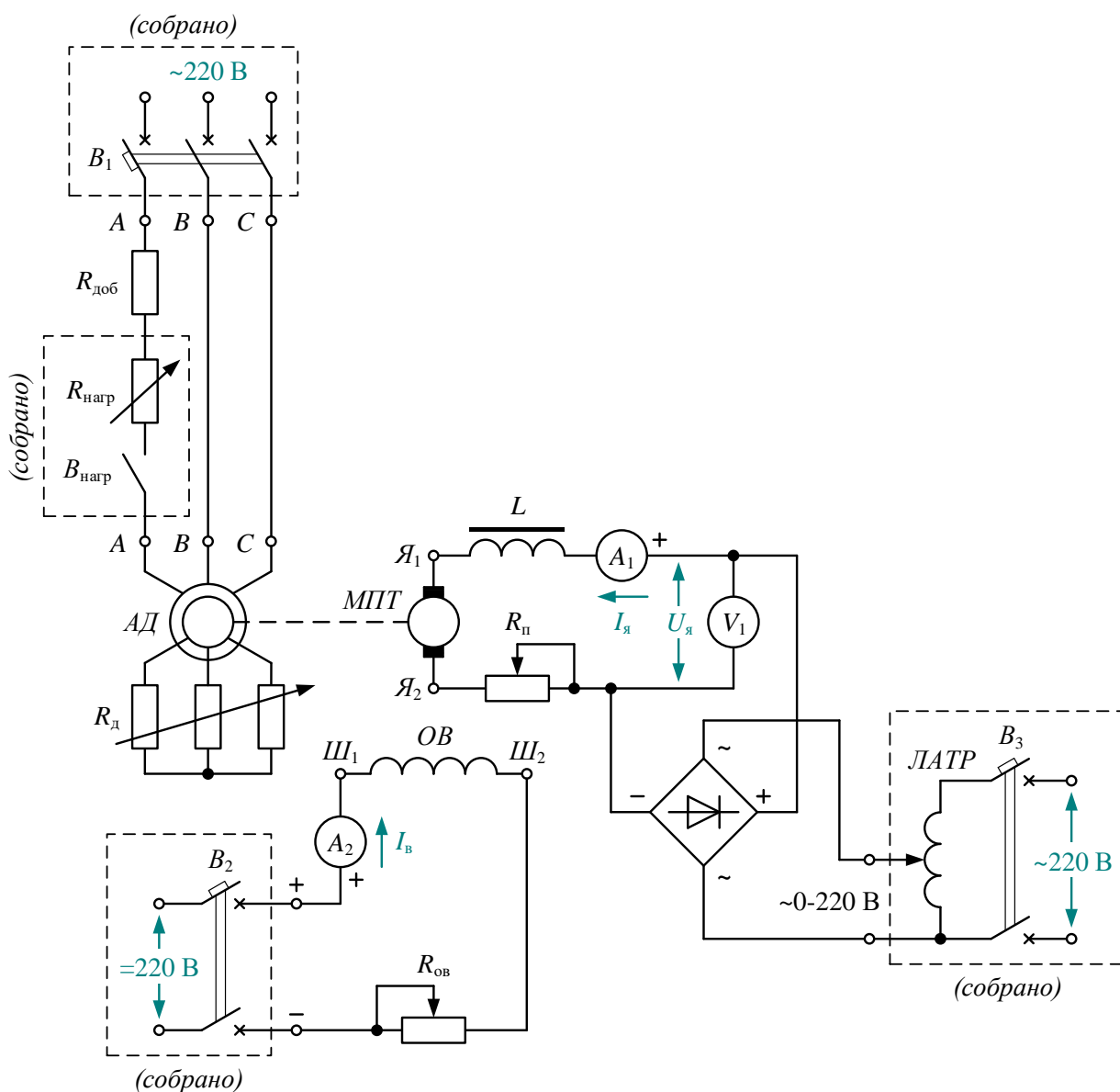


Рис. 1. Электрическая схема лабораторной установки для исследования характеристик двигателя постоянного тока независимого возбуждения

Машина постоянного тока *МПТ* работает в двигательном режиме. Статический момент на валу электромашинного агрегата создаётся асинхронным двигателем *АД* при его торможении противовключением. Нагрузка двигателя постоянного тока регулируется сопротивлением $R_{\text{нагр}}$. Обмотка якоря *МПТ* (Y_1, Y_2) получает питание от регулируемого источника постоянного напряжения (*ЛАТР* и мостовой выпрямитель). Обмотка возбуждения двигателя *ОВ* ($Ш_1, Ш_2$) подключена к нерегулируемому источнику; ток возбуждения при этом изменяют реостатом $R_{\text{ов}}$. Дроссель L в якорной цепи двигателя служит для сглаживания пульсаций выпрямленного напряжения. Амперметрами A_1 и A_2 измеряют токи якоря $I_{\text{я}}$ и возбуждения $I_{\text{в}}$ соответственно, вольтметром V_1 – напряжение якоря $U_{\text{я}}$. Для определения частоты вращения электромашинного агрегата предназначен тахогенератор (на схеме не показан); сигнал с него подаётся на стрелочный вольтметр, проградуированный в об/мин и рад/с.

3. Программа работы

16. Ознакомиться с расположением основного электрооборудования и измерительных приборов лабораторного стенда. Занести технические характеристики применяемого в данной работе оборудования и приборов в **табл. 1**. Паспортные данные двигателей и трансформаторов указаны на передней панели стенда.

Таблица 1

Технические характеристики основного электрооборудования и измерительных приборов

Двигатель постоянного тока независимого возбуждения					
Тип	Номинальная мощность, кВт	Номинальная частота вращения, об/мин	Номинальное напряжение якоря, В	Номинальный ток якоря, А	Номинальный ток возбуждения, А
	$P_{\text{н}}$	$n_{\text{н}}$	$U_{\text{я.н}}$	$I_{\text{я.н}}$	$I_{\text{в.н}}$
Измерительные приборы					
Обозначение	Тип прибора	Тип измерительной системы	Предел измерения	Цена деления	Класс точности
A_1					
A_2					
V_1					
n					

17. Собрать электрическую схему лабораторной установки по **рис. 1**. Представить её на проверку преподавателю.

18. Установить переключатели добавочных сопротивлений $R_{\text{д}}$ в цепи ротора асинхронного двигателя и пускового сопротивления $R_{\text{п}}$ в якорной цепи двигателя постоянного тока в положения «1». Переключатель статорной обмотки асинхронного двигателя перевести в положение «0» – отключено. Реостат $R_{\text{ов}}$ в цепи возбуждения машины постоянного тока вывести в крайнее нижнее положение.

19. Запустить двигатель постоянного тока. Последовательность действий при этом следующая.

- 1) подать напряжение в цепь возбуждения двигателя постоянного тока, включив автоматический выключатель B_2 ;
- 2) реостатом $R_{\text{ов}}$ установить номинальный ток возбуждения двигателя $I_{\text{в.н}}$;

3) включить автоматический выключатель B_3 . Перевести ручку лабораторного автотрансформатора регулируемого (ЛАТР) в минимальное (крайнее левое) положение. Установить ЛАТРОм номинальное напряжение якоря $U_{я.н}$;

4) по мере разгона двигателя до номинальной частоты вращения переводить переключатель пускового сопротивления $R_{п}$ в положение «4».

20. При номинальном напряжении на обмотке якоря, номинальном токе возбуждения и выведенном пусковом сопротивлении в якорной цепи снять естественную скоростную характеристику $\omega = f(I_{я})$ двигателя постоянного тока. Включить автоматический выключатель B_1 и перевести переключатель статорной обмотки асинхронного двигателя в положение «вкл». Изменяя нагрузку двигателя постоянного тока (величину сопротивления $R_{нагр}$ в цепи статора нагрузочного асинхронного двигателя), зафиксировать значения угловой скорости и тока якоря в **табл. 2**.

21. Исследовать возможность регулирования частоты вращения двигателя постоянного тока. Для этого следует получить искусственные скоростные характеристики:

1) реостатные ($U_{я} = U_{я.н}$; $I_{в} = I_{в.н}$; $R_{п} > 0$) (**табл. 3**);

2) при ослаблении магнитного потока ($U_{я} = U_{я.н}$; $I_{в} < I_{в.н}$; $R_{п} = 0$) (**табл. 4**);

3) при изменении напряжения якоря ($U_{я} < U_{я.н}$; $I_{в} = I_{в.н}$; $R_{п} = 0$) (**табл. 5**).

Значения скорости двигателя и тока якоря при снятии указанных характеристик занести в указанные выше таблицы.

Таблица 2

Экспериментальные данные естественной скоростной характеристики двигателя постоянного тока независимого возбуждения

Напряжение якоря, В	$U_{я} = U_{я.н}$	V_1					
Ток возбуждения, А	$I_{в} = I_{в.н}$	A_2					
Положение переключателя $R_{нагр}$			0 (откл.)	1	2	3	4
Скорость двигателя, рад/с	ω	n					
Ток якоря, А	$I_{я}$	A_1					

Таблица 3

Экспериментальные данные реостатных скоростных характеристик двигателя постоянного тока независимого возбуждения

Характеристика 1 (положение $R_{п} - \langle 3 \rangle$)							
Напряжение якоря, В	$U_{я} = U_{я.н}$	V_1					
Ток возбуждения, А	$I_{в} = I_{в.н}$	A_2					
Положение переключателя $R_{нагр}$			0 (откл.)	1	2	3	4
Скорость двигателя, рад/с	ω	n					
Ток якоря, А	$I_{я}$	A_1					
Характеристика 2 (положение $R_{п} - \langle 2 \rangle$)							
Напряжение якоря, В	$U_{я} = U_{я.н}$	V_1					
Ток возбуждения, А	$I_{в} = I_{в.н}$	A_2					
Положение переключателя $R_{нагр}$			0 (откл.)	1	2	3	4
Скорость двигателя, рад/с	ω	n					
Ток якоря, А	$I_{я}$	A_1					
Характеристика 3 (положение $R_{п} - \langle 1 \rangle$)							
Напряжение якоря, В	$U_{я} = U_{я.н}$	V_1					
Ток возбуждения, А	$I_{в} = I_{в.н}$	A_2					
Положение переключателя $R_{нагр}$			0 (откл.)	1	2	3	4
Скорость двигателя, рад/с	ω	n					
Ток якоря, А	$I_{я}$	A_1					

Таблица 4

Экспериментальные данные скоростных характеристик двигателя постоянного тока независимого возбуждения при ослаблении магнитного потока

Характеристика 1							
Напряжение якоря, В	$U_{я} = U_{я.н}$	V_1					
Ток возбуждения, А	$I_{в} = 0,9I_{в.н}$	A_2					
Положение переключателя $R_{нагр}$			0 (откл.)	1	2	3	4
Скорость двигателя, рад/с	ω	n					
Ток якоря, А	$I_{я}$	A_1					
Характеристика 2							
Напряжение якоря, В	$U_{я} = U_{я.н}$	V_1					
Ток возбуждения, А	$I_{в} = 0,8I_{в.н}$	A_2					
Положение переключателя $R_{нагр}$			0 (откл.)	1	2	3	4
Скорость двигателя, рад/с	ω	n					
Ток якоря, А	$I_{я}$	A_1					
Характеристика 3							
Напряжение якоря, В	$U_{я} = U_{я.н}$	V_1					
Ток возбуждения, А	$I_{в} = 0,7I_{в.н}$	A_2					
Положение переключателя $R_{нагр}$			0 (откл.)	1	2	3	4
Скорость двигателя, рад/с	ω	n					
Ток якоря, А	$I_{я}$	A_1					

Таблица 5

Экспериментальные данные скоростных характеристик двигателя постоянного тока независимого возбуждения при изменении напряжения якоря

Характеристика 1							
Напряжение якоря, В	$U_{я} = 0,8U_{я.н}$	V_1					
Ток возбуждения, А	$I_{в} = I_{в.н}$	A_2					
Положение переключателя $R_{нагр}$			0 (откл.)	1	2	3	4
Скорость двигателя, рад/с	ω	n					
Ток якоря, А	$I_{я}$	A_1					
Характеристика 2							
Напряжение якоря, В	$U_{я} = 0,7U_{я.н}$	V_1					
Ток возбуждения, А	$I_{в} = I_{в.н}$	A_2					
Положение переключателя $R_{нагр}$			0 (откл.)	1	2	3	4
Скорость двигателя, рад/с	ω	n					
Ток якоря, А	$I_{я}$	A_1					
Характеристика 3							
Напряжение якоря, В	$U_{я} = 0,6U_{я.н}$	V_1					
Ток возбуждения, А	$I_{в} = I_{в.н}$	A_2					
Положение переключателя $R_{нагр}$			0 (откл.)	1	2	3	4
Скорость двигателя, рад/с	ω	n					
Ток якоря, А	$I_{я}$	A_1					

4. Обработка результатов эксперимента

12. По данным табл. 2 – табл. 5 построить скоростные характеристики $\omega = f(I_{я})$ двигателя постоянного тока при различных способах регулирования частоты вращения. Отдельно представить

графики скоростных характеристик при реостатном регулировании, ослаблении магнитного потока и изменении напряжения якоря. На каждой диаграмме, помимо искусственных характеристик, привести естественную скоростную характеристику двигателя.

13. Сделать выводы по работе. Дать сравнительную оценку рассмотренных способов регулирования частоты вращения двигателей постоянного тока.

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА №4 ИССЛЕДОВАНИЕ ТРЁХФАЗНОГО АСИНХРОННОГО ДВИГАТЕЛЯ С ФАЗНЫМ РОТОРОМ

1. Цель работы

9. Изучить устройство и принцип действия асинхронного двигателя с фазным ротором.

10. Рассмотреть известные способы пуска асинхронных двигателей с фазным ротором, проанализировать их достоинства и недостатки.

11. Получить механические и рабочие характеристики асинхронного двигателя с фазным ротором при изменении добавочного сопротивления в роторной цепи.

12. Оценить свойства двигателя из анализа полученных рабочих и механических характеристик.

2. Описание лабораторной установки

Работа выполняется на универсальном лабораторном стенде. Электрическая схема лабораторной установки для исследования характеристик асинхронного двигателя с фазным ротором показана на **рис. 1**.

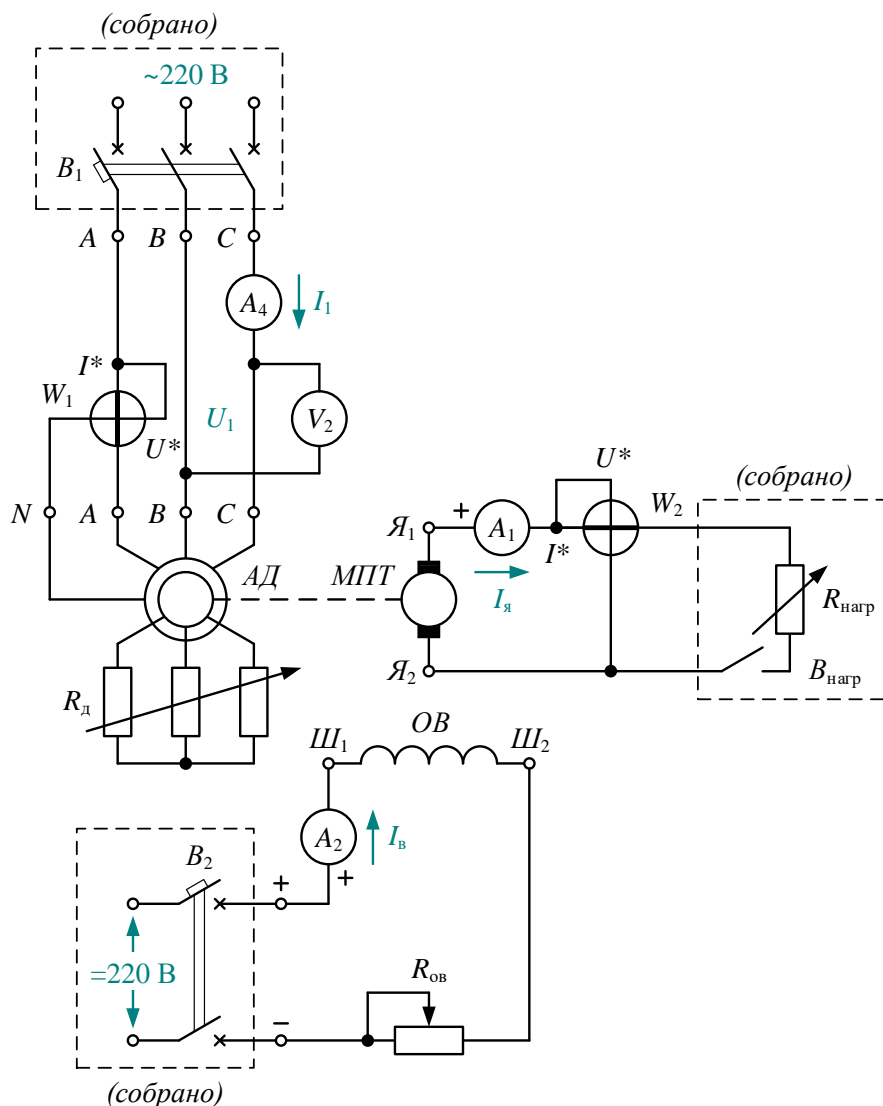


Рис. 1. Электрическая схема лабораторной установки для исследования характеристик асинхронного двигателя с фазным ротором

В работе используется трёхфазный асинхронный двигатель с фазным ротором АД, включаемый в сеть с помощью автоматического выключателя B_1 и универсального переключателя. Для изменения сопротивления в цепи ротора служит переключатель R_d . Статический момент на валу асинхронного двигателя создаётся машиной постоянного тока МПТ, работающей в генераторном режиме. Нагрузкой в цепи якоря генератора ($Я_1, Я_2$) служит реостат $R_{нагр}$, состоящий из четырёх секций, коммутируемых при помощи универсального переключателя. Обмотка возбуждения генератора ОВ ($Ш_1, Ш_2$) подключена к нерегулируемому источнику; ток возбуждения при этом изменяют реостатом $R_{ов}$.

Амперметрами A_1 и A_2 измеряют токи якоря $I_я$ и возбуждения $I_в$ соответственно, вольтметром V_2 – напряжение статора U_1 , амперметром A_4 – ток статора I_1 . Ваттметрами W_1 и W_2 фиксируют активные мощности двигателя АД и генератора МПТ. Для определения частоты вращения электромашинного агрегата предназначен тахогенератор (на схеме не показан); сигнал с него подаётся на стрелочный вольтметр, проградуированный в об/мин и рад/с.

3. Программа работы

22. Ознакомиться с расположением основного электрооборудования и измерительных приборов лабораторного стенда. Занести технические характеристики применяемого в данной работе оборудования и приборов в **табл. 1**. Паспортные данные двигателей и трансформаторов указаны на передней панели стенда.

Таблица 1

Технические характеристики основного электрооборудования и измерительных приборов

Асинхронный двигатель с фазным ротором					
Тип	Номинальная мощность, кВт	Номинальное напряжение статора (Y/Δ), В	Номинальный ток статора (Y/Δ), А	Номинальная частота вращения, об/мин	Номинальный cosφ
	P_n	$U_{1.n}$	$I_{1.n}$	n_n	$\cos\varphi_{1.n}$
Измерительные приборы					
Обозначение	Тип прибора	Тип измерительной системы	Предел измерения	Цена деления	Класс точности
A_1					
A_2					
V_1					
n					

23. Собрать электрическую схему лабораторной установки по **рис. 1**. Представить её на проверку преподавателю.

24. Подать напряжение на обмотку возбуждения автоматическим выключателем B_2 . Установить номинальный ток возбуждения машины постоянного тока (см. паспортные данные стенда) реостатом $R_{ов}$.

25. Установить переключатель добавочного сопротивления R_d в цепи ротора асинхронного двигателя в положение «1». Подать напряжение на обмотку статора автоматическим выключателем B_1 .

26. Получить рабочие и механические характеристики асинхронного двигателя с фазным ротором во всех положениях переключателя добавочного сопротивления R_d в роторной цепи. Ступенчатое изменение нагрузки асинхронного двигателя осуществляется при помощи реостата

$R_{\text{нагр}}$. Зафиксировать при этом угловую скорость электромашинного агрегата, напряжение и ток статора асинхронного двигателя, активные мощности двигателя и генератора. Результаты измерений занести в **табл. 2**.

4. Обработка результатов эксперимента

14. Рассчитать момент M , КПД η , $\cos\varphi_1$ и скольжение s асинхронного двигателя для всех положений переключателей реостатов $R_{\text{нагр}}$ и $R_{\text{д}}$ (**табл. 2**):

$$M = \frac{P_2}{\omega}; \quad (1)$$

$$\cos\varphi_1 = \frac{P_1}{\sqrt{3}U_1 I_1}; \quad (2)$$

$$\eta = \frac{P_2}{P_1}; \quad (3)$$

$$s = \frac{\omega_0 - \omega}{\omega_0}, \quad (4)$$

где $P_2 = P_{\text{г}}$ – механическая мощность на валу двигателя (без учёта потерь в генераторе);

$\omega_0 = (2\pi f_1)/p_{\text{п}}$ – синхронная угловая скорость двигателя;

$f_1 = 50$ Гц – частота напряжения статора;

$p_{\text{п}}$ – число пар полюсов двигателя (определяется по номинальной частоте вращения или типу двигателя).

Рассчитанные величины занести в **табл. 2**.

15. По данным **табл. 2** построить механические характеристики $\omega = f(M)$ асинхронного двигателя с фазным ротором для всех положений переключателя реостата $R_{\text{д}}$.

16. По данным **табл. 2** построить рабочие характеристики $\omega = f(P_2)$, $s = f(P_2)$, $\eta = f(P_2)$, $M = f(P_2)$, $I_1 = f(P_2)$, $\cos\varphi_1 = f(P_2)$ асинхронного двигателя с фазным ротором для всех положений переключателя реостата $R_{\text{д}}$.

17. Сделать выводы по результатам работы, выполнить анализ полученных характеристик.

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА №5 ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ОПРЕДЕЛЕНИЕ УГЛОВЫХ ХАРАКТЕИСТИК СИНХРОННОГО ГЕНЕРАТОРА

1. Цель работы

- Изучить устройство, конструкцию и принцип действия синхронного генератора с электромагнитным возбуждением.
- Рассмотреть последовательность действий при точной синхронизации синхронного генератора с трёхфазной сетью.
- Получить угловые характеристики синхронного генератора при совместной работе с сетью.

2. Описание лабораторной установки

Работа выполняется на лабораторной установке для исследования характеристик синхронных генераторов. В её состав входят: электромашинный агрегат, преобразователь частоты, регулируемый возбудитель, силовые трансформаторы, модель линии электропередачи, вспомогательное коммутационное, измерительное и защитное оборудование. Упрощённая электрическая схема лабораторной установки для получения угловых характеристик синхронного генератора показана на **рис. 1**.

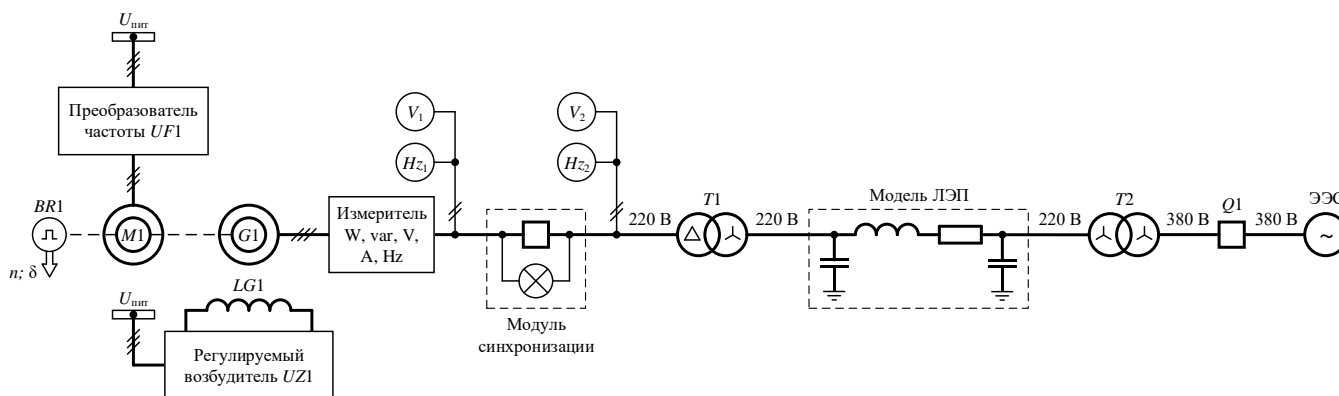


Рис. 1. Электрическая схема лабораторной установки для получения угловых характеристик синхронного генератора

3. Программа работы

- Ознакомиться с расположением и характеристиками основного электрооборудования лабораторного стенда (**табл. 1**).
- Собрать схему лабораторной установки по **рис. 1**. Представить её преподавателю на проверку.
- Включить генератор на параллельную работу с сетью (выполнить пункты 3...13).
- Установить максимальное значение продольной составляющей сопротивления линии электропередачи (переключатель SA1 в положение 3) и отключить поперечную составляющую (переключатель SA2, SA3 в положение 1).
- Перевести переключатели режима управления всех задействованных блоков в положение «Руч».
- Установить потенциометры задания RP1 модуля частотного преобразователя и модуля возбуждения в крайнее левое положение.
- Перевести переключатель SA1 направления вращения приводного двигателя модуля частотного преобразователя в положение «Вперёд».

34. Подать питание на стенд (включить автомат $QF1$ модуля питания стенда).
35. Включить все модули, имеющие индивидуальный тумблер подачи питания «Сеть».
36. Плавно повышая напряжение задания модуля частотного преобразователя (потенциометр $RP1$), установить номинальную частоту вращения (1500 об/мин) электромашинного агрегата (следить по показаниям измерителя скорости).
37. Плавно увеличивая напряжение задания модуля возбуждения (потенциометр $RP1$), установить величину линейного напряжения на статорной обмотке синхронного генератора около 220 В (следить по показаниям вольтметра V_1).
38. Включить выключатель модуля трехфазной сети (кнопка $SB1$).
39. Выровнять по показаниям частотомеров H_{z1} и H_{z2} частоты электромашинного агрегата и электрической сети. Для этого необходимо регулировать напряжение задания частотного преобразователя (потенциометр $RP1$).
40. Выровнять по показаниям вольтметров V_1 и V_2 напряжения со стороны генератора и со стороны сети. Для этого необходимо регулировать напряжение задания модуля возбуждения (потенциометр $RP1$).
41. Пункты 12 и 13 при необходимости повторить несколько раз, до тех пор, пока напряжения не будут близки ($\Delta U \leq 10$ В), а период изменения огибающей напряжения скольжения будет не менее нескольких секунд.
42. В момент совпадения векторов напряжений одноименных фаз на выключателе модуля синхронизации (лампы должны погаснуть), подать команду на его включение (кнопка $SB1$).
43. Установить номинальный ток возбуждения синхронного генератора 1 А.
44. Плавно повышая напряжение управления приводного двигателя снять угловую характеристику синхронного генератора $P_T = f(\delta)$. Фиксировать при этом значения угла ротора и активной мощности генератора в табл. 2. Угол ротора изменять в диапазоне $0 \dots 90$ эл. град. с шагом 10 эл. град. **ВНИМАНИЕ! При достижении предела статической устойчивости генератор перейдет в режим асинхронного хода. Длительное пребывание (более 10 сек) в этом режиме не допустимо, поэтому, в случае потери устойчивости необходимо:**
 - 1) снизить величину напряжения управления приводным двигателем до тех пор, пока генератор не втянется в синхронизм;
 - 2) если ресинхронизация не произошла, необходимо отключить связь с трехфазной сетью (кнопка $SB2$ модуля синхронизации), снять возбуждение генератора (потенциометр $RP1$ модуля возбуждения), отрегулировать частоту вращения электромашинного агрегата (потенциометр $RP1$ модуля частотного преобразователя) до номинального значения и произвести повторную синхронизацию генератора с сетью (см. п. 2).
45. Аналогичным образом получить угловые характеристики синхронного генератора при токе возбуждения 0,8 А и 1,2 А. Полученные результаты занести в табл. 2.

Таблица 1

Технические характеристики основного электрооборудования лабораторной установки

Наименование	Величина	Размерность
Асинхронный двигатель M		
Тип	1ММ71ВУ4	–
Номинальная мощность	0,37	кВт
Номинальное напряжение	380	В
Номинальная частота вращения	1320	об/мин
Номинальный ток статора	1,18	А
Номинальный $\cos\varphi$	0,7	–
Номинальный момент	2,68	Н·м
Синхронный генератор G		
Тип	AIS71BY3	–

Наименование	Величина	Размерность
Номинальная мощность	0,37	кВт
Номинальная частота вращения	1500	об/мин
Номинальное напряжение статора	380	В
Номинальный ток возбуждения	1	А
Максимальный ток возбуждения	2	
Импульсный датчик скорости и угла ротора (энкодер)		
Тип	TRD-S500VD	–
Напряжение питания	=5	В
Разрешающая способность	500	имп/об
Регулируемый возбудитель (модуль возбуждения)		
Напряжение питания	~220	В
Максимальный выходной ток	2	А
Преобразователь частоты		
Тип	ATV31H075N4	–
Число фаз	3	
Номинальное напряжение питания	380	В
Номинальная частота напряжения питания	50/60	Гц
Номинальный ток двигателя	2,3	А
Диапазон изменения выходной частоты напряжения питания	0...400	Гц
Силовые трансформаторы $T1; T2$		
Тип	ОСМ1	–
Номинальная мощность	0,1	кВА
Номинальное напряжение первичной обмотки	380	В
Номинальные напряжения вторичной обмотки	220/127	В

Таблица 2

Экспериментальные данные угловых характеристик синхронного генератора при различном токе возбуждения

Номер точки	Ток возбуждения $I_b = 1$ А		Ток возбуждения $I_b = 0,8$ А		Ток возбуждения $I_b = 1,2$ А	
	Угол ротора, эл. град	Активная мощность, Вт	Угол ротора, эл. град	Активная мощность, Вт	Угол ротора, эл. град	Активная мощность, Вт
	δ	P_r	δ	P_r	δ	P_r
1						
2						
...						
11						

4. Обработка результатов эксперимента

18. По данным **табл. 2** построить на одном графике характеристики холостого хода синхронного генератора $P_r = f(\delta)$ при различных значениях тока возбуждения.

19. Сделать выводы по результатам работы, выполнить анализ полученных характеристик.