



МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ  
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

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



**РАБОЧАЯ ПРОГРАММА ДИСЦИПЛИНЫ (МОДУЛЯ)**

**ЭЛЕКТРОТЕХНИКА**

Направление подготовки (специальность)  
15.03.02 Технологические машины и оборудование

Направленность (профиль/специализация) программы  
Компьютерное моделирование и проектирование в машиностроении

Уровень высшего образования - бакалавриат

Форма обучения  
очная

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

Магнитогорск  
2026 год

Рабочая программа составлена на основе ФГОС ВО - бакалавриат по направлению подготовки 15.03.02 Технологические машины и оборудование (приказ Минобрнауки России от 09.08.2021 г. № 728)

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

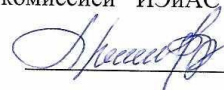
Зав. кафедрой



А.В.Варганова

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

Председатель



В.Р. Храмшин

Согласовано:

Зав. кафедрой Проектирования и эксплуатации металлургических машин и оборудования



А.Г. Корчунов

Рабочая программа составлена:  
доцент кафедры ЭПП, к.т.н.



О.И.Петухова

Рецензент:

Заместитель начальника электротехнического отделения АО  
«МАГНИТОГОРСКИЙ ГИПРОМЕЗ»



А.Ю.Литвинов

## 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)**

Целями освоения дисциплины (модуля) «Электротехника» являются теоретическая и практическая подготовка будущих бакалавров в области электротехники и электроники в такой степени, чтобы они могли выбирать необходимые электротехнические, электронные, электроизмерительные устройства, уметь их правильно эксплуатировать и составлять совместно со специалистами-электриками технические задания на разработку электрических частей различных установок и оборудования в своей профессиональной деятельности.

### **2 Место дисциплины (модуля) в структуре образовательной программы**

Дисциплина Электротехника входит в обязательную часть учебного плана образовательной программы.

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

Математика

Физика

Информатика

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

Монтаж, эксплуатация и ремонт металлургических машин и оборудования

Теория машин и механизмов

Безопасность жизнедеятельности

Металлургические подъемно-транспортные машины

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

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

Код индикатора	Индикатор достижения компетенции
ОПК-1	Способен применять естественнонаучные и общеинженерные знания, методы математического анализа и моделирования в профессиональной деятельности;
ОПК-1.1	Решает стандартные профессиональные задачи с применением общеинженерных знаний
ОПК-1.2	Применяет методы моделирования и математического анализа для решения задач в профессиональной деятельности

#### 4. Структура, объём и содержание дисциплины (модуля)

Общая трудоемкость дисциплины составляет 3 зачетных единиц 108 акад. часов, в том числе:

- контактная работа – 55 акад. часов;
- аудиторная – 54 акад. часов;
- внеаудиторная – 1 акад. часов;
- самостоятельная работа – 53 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.								
1.1 Линейные электрические цепи постоянного тока.	1	2	2	2	3	1. Поиск дополнительной информации по заданной теме. 2. Самостоятельное изучение учебной литературы. 3. Работа с электронными библиотеками. 4. Подготовка и выполнение л.р.№1	Коллоквиум по л.р.№1	ОПК-1.1, ОПК-1.2
1.2 Линейные электрические цепи однофазного синусоидального тока.		3	2	3	7	1. Работа с электронными библиотеками. 2. Самостоятельное изучение учебной литературы. 3. Подготовка и выполнение л.р.№2	Коллоквиум по л.р.№2.	ОПК-1.1, ОПК-1.2
1.3 Трёхфазные цепи.		3	2	2	7	1. Работа с электронными библиотеками. 2. Самостоятельное изучение учебной литературы.	Коллоквиум по л.р.№4.	ОПК-1.1, ОПК-1.2

						3. Подготовка и выполнение л.р.№4.		
1.4 Трансформаторы.	1	3	2	2	7	1. Подготовка и выполнение л.р.№21. 2. Самостоятельное изучение учебной литературы	Коллоквиум по л.р.№21	ОПК-1.1, ОПК-1.2
1.5 Электрические машины постоянного тока.		2	2	2	7	1. Подготовка и выполнение л.р.№23. 2. Самостоятельное изучение учебной литературы.	Коллоквиум по л.р.№23.	ОПК-1.1, ОПК-1.2
1.6 Асинхронные двигатели		3	2	2	7	1. Подготовка и выполнение л.р.№24. 2. Самостоятельное изучение учебной литературы.	Коллоквиум по л.р.№24.	ОПК-1.1, ОПК-1.2
1.7 Элементная база электронных устройств. Источники вторичного питания.		2	4	3	8	1. Подготовка и выполнение л.р.№11. 2. Самостоятельное изучение учебной литературы.	Коллоквиум по л.р.№11.	ОПК-1.1, ОПК-1.2
1.8 Электрические измерения и приборы.			2	2	7	1. Подготовка и выполнение л.р.№8. 2. Самостоятельное изучение учебной литературы.	Коллоквиум по л.р.№8.	ОПК-1.1, ОПК-1.2
Итого по разделу		18	18	18	53			
Итого за семестр		18	18	18	53		зачёт	
Итого по дисциплине		18	18	18	53		зачет	

## **5 Образовательные технологии**

Для реализации предусмотренных видов учебной работы в качестве образовательных технологий в преподавании дисциплины используются традиционная

технология и технология проблемного обучения. Передача необходимых теоретических знаний и формирование основных представлений может происходить с

использованием мультимедийного 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.

## **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. Данилов, И. А. Электротехника : учебник для вузов / И. А. Данилов. — 2-е изд., испр. и доп. — Москва : Издательство Юрайт, 2025. — 412 с. — (Высшее образование). — ISBN 978-5-534-21153-5. — Текст : электронный // Образовательная платформа Юрайт [сайт]. — URL: <https://urait.ru/bcode/559467> (дата обращения: 06.03.2025).

2. Иванов, И. И. Электротехника и основы электроники : учебник / И. И. Иванов, Г. И. Соловьев, В. Я. Фролов. — 10-е изд., стер. — Санкт-Петербург : Лань, 2019. — 736 с. — ISBN 978-5-8114-0523-7. — Текст : электронный // Лань : электронно-библиотечная система. — URL: <https://e.lanbook.com/book/112073> (дата обращения: 10.03.2025). — Режим доступа: для авториз. пользователей.

3. Электрические машины : учебник и практикум для вузов / В. И. Киселев, Э. В. Кузнецов, А. И. Копылов, В. П. Лунин ; под общей редакцией В. П. Лунина. — 3-е изд., перераб. и доп. — Москва : Издательство Юрайт, 2025. — 231 с. — (Высшее образование). — ISBN 978-5-534-19656-6. — Текст : электронный // Образовательная платформа Юрайт [сайт]. — URL: <https://urait.ru/bcode/560763> (дата обращения: 10.03.2025).

4. Новожилов, О. П. Электротехника (теория электрических цепей) в 2 ч. Часть 1. : учебник для вузов / О. П. Новожилов. — Москва : Издательство Юрайт, 2025. — 403 с. — (Высшее образование). — ISBN 978-5-534-04038-8. — Текст : электронный // Образовательная платформа Юрайт [сайт]. — URL: <https://urait.ru/bcode/561737> (дата обращения: 06.03.2025).

### **б) Дополнительная литература:**

1. Электротехника. Электрические и магнитные цепи : учебник и практикум для вузов / В. П. Лунин, Э. В. Кузнецов ; под общей редакцией В. П. Лунина. — 2-е изд., перераб. и доп. — Москва : Издательство Юрайт, 2025. — 301 с. — (Высшее образование). — ISBN 978-5-534-19691-7. — Текст : электронный // Образовательная платформа Юрайт [сайт]. — URL: <https://urait.ru/bcode/560566> (дата обращения: 10.03.2025).

2. Миленина, С. А. Электротехника : учебник и практикум для среднего профессионального образования / С. А. Миленина ; под редакцией Н. К. Миленина. — 2-е изд., перераб. и доп. — Москва : Издательство Юрайт, 2025. — 245 с. — (Профессиональное образование). — ISBN 978-5-534-19816-4. — Текст : электронный // Образовательная платформа Юрайт [сайт]. — URL: <https://urait.ru/bcode/562788> (дата обращения: 06.03.2025).

3. Введение в теоретическую электротехнику. Курс подготовки бакалавров / Ю. А. Бычков, В. М. Золотницкий, Е. Б. Соловьева, Э. П. Чернышев. — Санкт-Петербург : Лань, 2016. — 288 с. — ISBN 978-5-8114-2406-1. — Текст : электронный // Лань : электронно-библиотечная система. — URL: <https://e.lanbook.com/book/89931> (дата обращения: 10.03.2025). — Режим доступа: для авториз. пользователей.

4. Аполлонский, С. М., Электротехника : учебник / С. М. Аполлонский. — Москва : КноРус, 2023. — 292 с. — ISBN 978-5-406-11277-9. — URL: <https://book.ru/book/948617> (дата обращения: 10.03.2025). — Текст : электронный.

5. Электротехника в упражнениях и задачах : учебное пособие / Е. И. Алгазин, В. В. Богданов, О. Б. Давыденко [и др.]. — Новосибирск : НГТУ, 2021. — 94 с. — ISBN 978-5-7782-4365-1. — Текст : электронный // Лань : электронно-библиотечная система. — URL: <https://e.lanbook.com/book/216116> (дата обращения: 10.03.2025). — Режим доступа: для авториз. пользователей.

#### в) Методические указания:

Методические указания для выполнения лабораторных работ приведены в приложении 3.

#### г) Программное обеспечение и Интернет-ресурсы:

##### Программное обеспечение

Наименование ПО	№ договора	Срок действия лицензии
7Zip	свободно распространяемое	бессрочно

##### Профессиональные базы данных и информационные справочные системы

Название курса	Ссылка
Электронные ресурсы библиотеки МГТУ им. Г.И.	<a href="https://host.megaprolib.net/MP0109/Web">https://host.megaprolib.net/MP0109/Web</a>
Национальная информационно-аналитическая система – Российский индекс научного цитирования	URL: <a href="https://elibrary.ru/project_risc.asp">https://elibrary.ru/project_risc.asp</a>

## 9 Материально-техническое обеспечение дисциплины (модуля)

Материально-техническое обеспечение дисциплины включает:

Учебные аудитории для проведения занятий лекционного типа ауд.365

Мультимедийные средства хранения, передачи и представления информации

Учебная лаборатория для проведения лабораторных работ: лаборатория электрических цепей ауд. 358 Универсальный лабораторный стенд по электрическим цепям, электронике, электроизмерениям 9 шт.

Наглядные пособия –плакаты-12 шт.

Учебная лаборатория для проведения лабораторных работ: лаборатория электрических машин ауд .361 Универсальный лабораторный стенд по электрическим машинам 9 шт.

Наглядные пособия-плакаты-12 шт.

Учебная аудитория для проведения практических занятий , групповых и индивидуальных консультаций, текущего контроля и промежуточной аттестации ауд. 357, 354, 358, 361 Доска, мультимедийный проектор, экран

Помещение для самостоятельной работы обучающихся ауд. 343 Персональные компьютеры с пакетом MS Office, выходом в Интернет и доступом в электронную информационно-образовательную среду университета

Помещение для хранения и профилактического обслуживания учебного оборудования ауд. 356 Стеллажи, сейфы для хранения учебного оборудования.

Инструменты для ремонта лабораторного оборудования

## Приложение 1

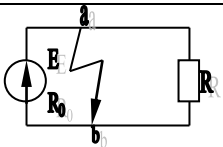
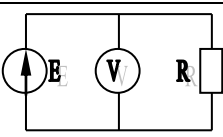
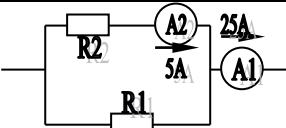
### 6. Учебно-методическое обеспечение самостоятельной работы обучающихся

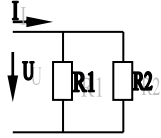
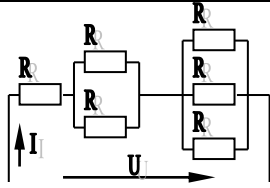
По дисциплине «Электротехника » предусмотрена аудиторная и внеаудиторная самостоятельная работа обучающихся.

Аудиторная самостоятельная работа студентов предполагает решение задач при выполнении коллоквиума по теме лабораторной работы.

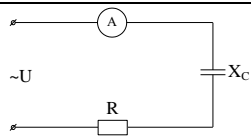
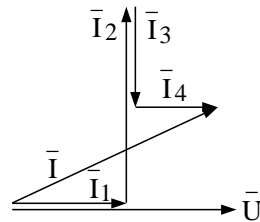
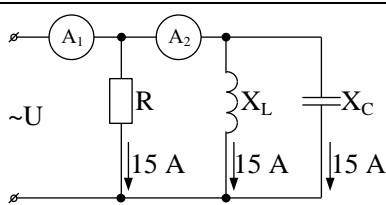
#### *Примерные аудиторные коллоквиумы*

*Коллоквиум № 1. Линейные цепи постоянного тока.*

1. Определить величину тока короткого замыкания, если: $E = 2,1 \text{ В}$ , $R_0 = 0,1 \text{ Ом}$ , $R = 2 \text{ Ом}$ .	
2. Что показывает вольтметр, подключенный к зажимам источника?	
3. Определить сопротивление резистора R2, если: $R_1 = 3 \text{ Ом}$ , а показания амперметров указаны на схеме.	

<p>4. Определить сопротивления <math>R_1</math> и <math>R_2</math>, если:  <math>U = 60 \text{ В}</math>, ток в неразветвленной части цепи  <math>I = 1,5 \text{ А}</math>. (<math>R_1 = 2R_2</math>)</p>	
<p>5. Определить напряжение источника <math>U</math>, если  <math>R=6 \text{ Ом}</math>, <math>I=4\text{А}</math>.</p>	

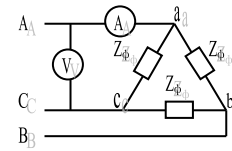
*Коллоквиум № 2. Линейные цепи переменного тока .*

<p>1. Приведите график мгновенных значений тока и напряжения для цепи, содержащей активное сопротивление.</p>	
<p>2. Определить сопротивление конденсатора <math>X_C</math>, если: <math>U = 200 \text{ В}</math>, <math>I = 4 \text{ А}</math>, <math>\cos \varphi = 0,8</math>.</p>	
<p>3. Определить действующее значение тока, напряжения, сдвиг по фазе и характер нагрузки, если мгновенные значения тока и напряжения равны: <math>i = 10 \sin \omega t</math>, <math>u = 141 \sin (\omega t + 30^\circ)</math>.</p>	
<p>4. Приведите электрическую схему, которой соответствует векторная диаграмма.</p>	
<p>5. Определить показания амперметров <math>A_1</math> и <math>A_2</math> и реактивную мощность цепи <math>Q</math>, если: <math>U = 120 \text{ В}</math>.</p>	

*Коллоквиум № 3. Трехфазные цепи.*

<p>1. Как получить трехфазную систему Э.Д.С.? Дайте определение трехфазной электрической цепи.</p>
<p>2. Объяснить построение векторной диаграммы токов и напряжений для трехфазной цепи, соединенной «звездой». Нагрузка симметричная, характер активно – индуктивный.</p>
<p>3. Линейные токи при соединении нагрузки «звездой»: <math>I_A = I_B = I_C = 20 \text{ А}</math>. Определить ток в нейтральном проводе, если <math>\varphi_a = \varphi_b = \varphi_c = 30^\circ</math>.</p>
<p>4. Приведите выражение для определения активной и реактивной мощностей при симметричной и несимметричной нагрузках.</p>

5. Определить показание вольтметра, если  $Z_{\phi} = 10 \text{ Ом}$ , амперметр показывает 10 А.



*Коллоквиум № 4. Трансформаторы*

1. Назовите номинальные величины, указываемые на паспортном щитке трансформатора. Что вы понимаете под номинальной мощностью трансформатора?

2. Приведите эл. схему опыта холостого хода. Расскажите порядок проведения этого опыта. Какие величины при этом определяются?

3. Приведите внешнюю характеристику трансформатора и объясните ее. При каких условиях снимается внешняя характеристика?

4. Почему у обмотки высшего напряжения сечение провода меньше, а у обмотки низшего напряжения больше?

5. Дано:  $U_{1\text{ном}}=220 \text{ В}$ ,  $U_{2\text{ном}}=127 \text{ В}$ ,  $S_{\text{ном}}=1100 \text{ ВА}$ .

Определить номинальные токи первичной и вторичной обмоток трансформатора и коэффициент трансформации  $K$ .

Почему номинальные токи не равны по величине?

*Коллоквиум № 5. Генераторы постоянного тока.*

1. Расскажите о способах охлаждения машин постоянного тока.

2. Устройство и назначение коллектора.

3. Какие потери в машинах постоянного тока являются постоянными? Приведите характеристику КПД и объясните ее.

4. При каких условиях снимается характеристика холостого хода? Приведите вид характеристики холостого хода. Объясните, почему восходящая ветвь характеристики не совпадает с нисходящей?

5. Генератор параллельного возбуждения с номинальным напряжением  $U_{\text{ном}}=220$  В, номинальным током  $I_{\text{ном}}=110$  А имеет следующие потери:  $P_0=P_c+P_{\text{мех}}=1320$  Вт,  $P_B=650$  Вт,  $P_3=1300$  Вт. Определить КПД генератора.

*Коллоквиум № 6. Двигатели постоянного тока.*

1. Устройство и принцип действия двигателя постоянного тока.

2. Приведите уравнение электрического равновесия двигателя постоянного тока и объясните его.

3. Для двигателя параллельного возбуждения на одном графике приведите две механические передачи: естественную и искусственную (реостатную). Укажите точки, соответствующие номинальному режиму и режиму идеального холостого хода и условия, при которых сняты эти характеристики.

4. Какие потери изменяются существенно при изменении нагрузки на валу двигателя и оказывают значительное влияние на К.П.Д.?

5. Двигатель постоянного тока параллельного возбуждения имеет паспортные данные:  $P_{\text{ном}}=10$  кВт,  $U_{\text{ном}}=220$  В,  $I_{\text{ном}}=50$  А,  $n_{\text{ном}}=1000$  об/мин,  $R_{\text{я}}=0,4$  Ом.  
Определить частоту вращения якоря двигателя при идеальном холостом ходе.

Коллоквиум № 7. Асинхронные двигатели

<p>1. Устройство и назначение частей трехфазного асинхронного двигателя с короткозамкнутым ротором.</p>
<p>2. Как изменится ток холостого хода (<math>I_0</math>) и номинальный коэффициент мощности (<math>\cos\phi_{ном}</math>), если воздушный зазор между статором и ротором увеличится?</p>
<p>3. Приведите выражение частоты вращения магнитного поля статора и объясните его.</p>
<p>4. Что вы понимаете под режимом холостого хода асинхронного двигателя?</p>
<p>5. Трехфазный асинхронный двигатель имеет номинальные данные: <math>P_{ном}=10</math> кВт, <math>U_{ном}=220/380</math> В, <math>n_{ном}=950</math> об/мин, <math>\eta=85\%</math>, <math>\cos\phi=0,681</math>. Определить номинальную мощность потребления энергии из сети и момент на валу двигателя, если обмотка статора соединена «звездой».</p>

Коллоквиум № 8. Электрические измерения.

<p>1. Назовите требования, предъявляемые к электроизмерительным приборам.</p>
<p>2. Какой ток можно измерить амперметром, сопротивление которого <math>R_A=0,3</math> Ом, <math>n_{ном}=150</math> дел., <math>C_A=0,001</math> А/дел., если включить его с шунтом, сопротивление которого <math>R_{ш}=0,01</math> Ом?</p>
<p>3. Определить цену деления вольтметра, имеющего номинальные данные: <math>U_{ном}=50</math> В, <math>n_{ном}=100</math> дел., <math>R_V=1000</math> Ом, включенного с добавочным сопротивлением <math>R_D=3000</math> Ом.</p>

Приведите схему включения вольтметра с добавочным сопротивлением.

4. Два ваттметра с номинальными данными  $I_{\text{ном}}=5$  А,  $U_{\text{ном}}=150$  В со шкалой на 150 делений включены в цепь через измерительные трансформаторы тока и напряжения с коэффициентами трансформации тока  $K_{\text{ТТ}}=50/5$  и  $K_{\text{ТН}}=500/100$ . Определить мощность потребления энергии трехфазной цепью, если стрелка одного ваттметра отклонилась на 15 делений, а другого на 40 делений.

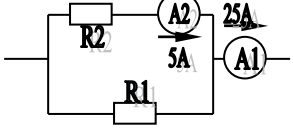
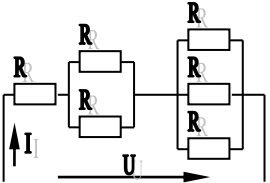
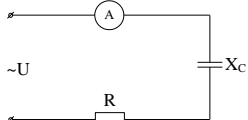
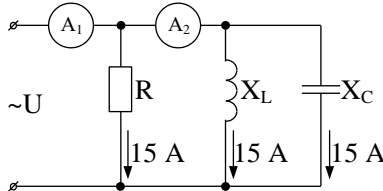
5. В чем разница между точностью и чувствительностью прибора?

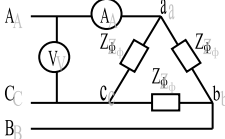
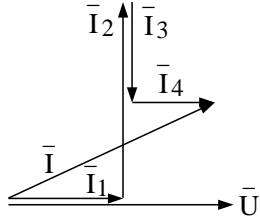
**7. Оценочные средства для проведения промежуточной аттестации**

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

Код индикатора	Индикатор достижения компетенции	Оценочные средства
<b>ОПК-1:</b>	Способен применять естественнонаучные и общеинженерные знания, методы математического анализа и моделирования в профессиональной деятельности;	
<b>ОПК-1.1:</b>	Решает стандартные профессиональные задачи с применением общеинженерных знаний	<p><b><i>Перечень теоретических вопросов к экзамену</i></b></p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. Понятия электрической, электронной и магнитной цепей. Классификация и примеры цепей. Основные законы электротехники и их применение.</li> <li>2. Физическая и математическая модели цепи. Источники, проводники и приемники. Идеализированные двухполюсные элементы и их свойства.</li> <li>3. Линейные электрические цепи постоянного тока. Анализ цепи на основе законов Кирхгофа и Ома.</li> <li>4. Эквивалентные преобразования участков цепей.</li> <li>5. Основные методы анализа линейных цепей.</li> <li>6. Свойства линейных электрических цепей: свойство линейности, принцип наложения, принцип взаимности.</li> <li>7. Электрическая мощность и энергия постоянного электрического тока. Закон сохранения энергии в электрической цепи с постоянными токами. Баланс мощностей.</li> <li>8. Основные характеристики и параметры синусоидальных токов и напряжений. Способы получения синусоидальных напряжений и токов.</li> <li>9. Представление синусоидальных токов и напряжений векторами и комплексными числами. Законы</li> </ol>

Код индикатора	Индикатор достижения компетенции	Оценочные средства
		<p>электрических цепей в комплексной форме.</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>10. Фазовые соотношения между токами и напряжениями в цепи при синусоидальном токе.</li> <li>11. Сопротивления элементов и участков цепей при синусоидальных токах.</li> <li>12. Электрическая энергия и мощность в цепях с синусоидальным током. Активная, реактивная и полная мощности. Баланс активных и реактивных мощностей.</li> <li>13. Трехфазная система напряжений, основные соотношения, способы получения, источники трехфазного напряжения и их эквивалентные схемы.</li> <li>14. Трехфазная нагрузка. Симметричная и несимметричная нагрузка при соединении фаз в треугольник и звезду. Схемы и расчет эквивалентных параметров нагрузки в трехфазных цепях.</li> <li>15. Трехфазная трех- и четырехпроводная сеть с симметричной нагрузкой, схемы, расчетные соотношения для определения линейных и фазных токов и напряжений.</li> <li>16. Мощности трехфазной сети. Измерение активной и реактивной мощности.</li> <li>17. Однофазный трансформатор со стальным сердечником.</li> <li>18. Свойства и особенности полупроводниковых диодов различных типов.</li> <li>19. Назначение и примеры простейших схем выпрямителей, принципы их работы.</li> </ol> <p style="text-align: center;"><b><i>Примерный перечень практических заданий</i></b></p>

Код индикатора	Индикатор достижения компетенции	Оценочные средства
		<p>1. Определить сопротивление резистора R2, если: R1 = 3 Ом, а показания амперметров указаны на схеме.</p>  <p>2. Определить напряжение источника U, если R=6 Ом, I=4А.</p>  <p>3. Определить сопротивление конденсатора X<sub>C</sub>, если: U = 200 В, I = 4 А, cos φ = 0,8.</p>  <p>4. Определить показания амперметров A<sub>1</sub> и A<sub>2</sub> и реактивную мощность цепи Q, если: U = 120 В.</p>  <p>5. Линейные токи при соединении нагрузки «звездой»: I<sub>A</sub> = I<sub>B</sub> = I<sub>C</sub> = 20 А. Определить ток в нейтральном проводе, если φ<sub>a</sub> = φ<sub>b</sub> = φ<sub>c</sub> = 30°.</p>

Код индикатора	Индикатор достижения компетенции	Оценочные средства
		<p>6. Определить показание вольтметра, если <math>Z_{\phi} = 10 \text{ Ом}</math>, амперметр показывает 10 А.</p>  <p>7. Определить действующее значение тока, напряжения, сдвиг по фазе и характер нагрузки, если мгновенные значения тока и напряжения равны: <math>i = 10 \sin \omega t</math>, <math>u = 141 \sin (\omega t + 30^\circ)</math>.</p> <p>8. Какой ток можно измерить амперметром, сопротивление которого <math>R_A = 0,3 \text{ Ом}</math>, <math>n_{\text{ном}} = 150 \text{ дел.}</math>, <math>C_A = 0,001 \text{ А/дел.}</math>, если включить его с шунтом, сопротивление которого <math>R_{\text{ш}} = 0,01 \text{ Ом}</math>?</p> <p>9. Определить цену деления вольтметра, имеющего номинальные данные: <math>U_{\text{ном}} = 50 \text{ В}</math>, <math>n_{\text{ном}} = 100 \text{ дел.}</math>, <math>R_V = 1000 \text{ Ом}</math>, включенного с добавочным сопротивлением <math>R_D = 3000 \text{ Ом}</math>.</p> <p>Приведите схему включения вольтметра с добавочным сопротивлением.</p> <p>10. Приведите электрическую схему, которой соответствует векторная диаграмма.</p> 

Код индикатора	Индикатор достижения компетенции	Оценочные средства
		<p style="text-align: center;"><b><i>Перечень лабораторных работ</i></b></p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. Электрические приборы и измерения;</li> <li>2. Исследование свойств цепи постоянного тока;</li> <li>3. Исследование электрической цепи синусоидального тока;</li> <li>4. Исследование трехфазных цепей;</li> <li>5. Исследование полупроводниковых выпрямителей.</li> </ol>
<b>ОПК-1.2:</b>	Применяет методы моделирования и математического анализа для решения задач в профессиональной деятельности	<p style="text-align: center;"><b><i>Перечень теоретических вопросов к экзамену</i></b></p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. Однофазный трансформатор со стальным сердечником.</li> <li>2. Трехфазные трансформаторы: назначение, конструкция, принцип действия, основные эксплуатационные параметры.</li> <li>3. Получение вращающегося магнитного поля в трехфазной цепи.</li> <li>4. Асинхронные двигатели: назначение, конструкция, принцип действия.</li> <li>5. Способы пуска и регулирования скорости асинхронных двигателей.</li> <li>6. Двигатели постоянного тока: назначение, конструкция, способы возбуждения, основные характеристики.</li> <li>7. Уравнение движения электропривода.</li> <li>8. Режимы работы электроприводов.</li> <li>9. Выбор мощности двигателя электропривода.</li> </ol>

Код индикатора	Индикатор достижения компетенции	Оценочные средства
		<p>10. Выбор вида и типа двигателя.</p> <p>11. Тиристорное и транзисторное управление электроприводом</p> <p>12. Общие сведения о полупроводниках.</p> <p>13. Электронно-дырочный переход. Характеристики, параметры и назначение полупроводниковых диодов, тиристоров.</p> <p>14. Общие сведения и классификация источников электропитания.</p> <p>15. Нулевые схемы выпрямления. Однофазные, трехфазные и управляемые выпрямители.</p> <p><b><i>Примерный перечень практических заданий</i></b></p> <p>1. Дано: <math>U_{1ном}=220</math> В, <math>U_{2ном}=127</math> В, <math>S_{ном}=1100</math> ВА.</p> <p>Определить номинальные токи первичной и вторичной обмоток трансформатора и коэффициент трансформации <math>K</math>.</p> <p>Почему номинальные токи не равны по величине?</p> <p>2. Однофазный трансформатор номинальной мощностью <math>S_{ном}=600</math> кВА включен в сеть с напряжением <math>U_{1ном}=10\ 000</math> В. Напряжение на зажимах вторичной обмотки <math>U_{2ном}=400</math> В. Определить число витков первичной обмотки <math>W_1</math> и коэффициент трансформации <math>k</math>, если число витков</p>

Код индикатора	Индикатор достижения компетенции	Оценочные средства
		<p>вторичной обмотки <math>W_2=25</math>.</p> <p>3. Во вторичной обмотке трансформатора наводится ЭДС <math>E_2=100</math> В с частотой <math>f=50</math> Гц.</p> <p style="text-align: center;">Определить ЭДС <math>E_2</math>, если амплитуда напряжения на первичной обмотке не изменится, а частота возрастет до 400 Гц?</p> <p>4. Трансформатор имеет следующие данные: <math>S_{ном}=10\ 000</math> ВА, <math>P_0=200</math> Вт, <math>P_k=400</math> Вт. Определить КПД трансформатора при <math>\cos\varphi=0,8</math> и <math>\beta=0,5</math>.</p> <p>5. Двигатель постоянного тока параллельного возбуждения имеет паспортные данные: <math>P_{ном}=10</math> кВт, <math>U_{ном}=220</math> В, <math>I_{ном}=50</math> А, <math>n_{ном}=1000</math> об/мин, <math>R_{я}=0,4</math> Ом.</p> <p style="text-align: center;">Определить частоту вращения якоря двигателя при идеальном холостом ходе.</p> <p>6. Двигатель постоянного тока независимого возбуждения имеет номинальные данные: <math>P_{ном}=55</math> кВт, <math>U_{ном}=440</math> В, <math>I_{ном}=140</math> А, <math>R_{я}=0,1</math> Ом.</p> <p style="text-align: center;">Определить противо - ЭДС и электромагнитную мощность двигателя.</p> <p>7. Двигатель постоянного тока параллельного возбуждения имеет номинальные данные: <math>P_{ном}=10\ 000</math> Вт, <math>U_{ном}=220</math> В,</p>

Код индикатора	Индикатор достижения компетенции	Оценочные средства
		<p><math>I_{ном}=55 \text{ А}</math>,</p> <p><math>n_{ном}=1000 \text{ об/мин}</math>, <math>R_{я}=0,4 \text{ Ом}</math>, <math>R_{в}=44 \text{ Ом}</math>.</p> <p>Определить КПД <math>\eta</math> и момент вращения двигателя.</p> <p>8. Двигатель параллельного возбуждения имеет номинальные данные: <math>P_{ном}=1,5 \text{ кВт}</math>, <math>U_{ном}=110 \text{ В}</math>, <math>I_{ном}=18 \text{ А}</math>, <math>n_{ном}=3000 \text{ об/мин}</math>, <math>R_{в}=104 \text{ Ом}</math>, <math>R_{я}=0,47 \text{ Ом}</math>.</p> <p>Определить противо – ЭДС двигателя и номинальный момент на валу.</p> <p>9. Номинальные данные двигателя параллельного возбуждения: <math>U_{ном}=110 \text{ В}</math>, <math>I_{ном}=14 \text{ А}</math>, <math>P_{ном}=1,5 \text{ кВт}</math>, <math>R_{я}=0,5 \text{ Ом}</math>, <math>R_{в}=220 \text{ Ом}</math>.</p> <p>Определить противо – ЭДС при нагрузке равной <math>I_{я}=1,5 I_{ном}</math>.</p> <p>10. Трехфазный асинхронный двигатель имеет номинальные данные:</p> <p><math>P_{ном}=10 \text{ кВт}</math>, <math>U_{ном}=220/380 \text{ В}</math>, <math>n_{ном}=950 \text{ об/мин}</math>, <math>\eta=85\%</math>, <math>\cos\varphi=0,681</math>.</p> <p>Определить номинальную мощность потребления энергии из сети и момент на валу двигателя, если</p>

Код индикатора	Индикатор достижения компетенции	Оценочные средства
		<p data-bbox="1317 373 1839 405">обмотка статора соединена «звездой».</p> <p data-bbox="1218 443 2069 560">11 Определить номинальную мощность потребления энергии из сети и полные потери энергии в двигателе, если: <math>P_{ном}=4,5</math> кВт, к.п.д. <math>\eta=90\%</math>.</p> <p data-bbox="1218 596 2069 671">12 Максимальный момент асинхронного двигателя 13Нм при <math>U_1=U_{1ном}</math>. Чему он равен при <math>U_1=0,8U_{ном}</math>, если <math>R_2=const</math>?</p> <p data-bbox="1424 778 1872 810" style="text-align: center;"><b><i>Перечень лабораторных работ</i></b></p> <ol data-bbox="1218 847 2051 1086" style="list-style-type: none"> <li>1. Исследование однофазного трансформатора;</li> <li>2. Исследование двигателей постоянного тока;</li> <li>3. Исследование асинхронных двигателей с фазным ротором.</li> <li>4. Электрические приборы и измерения;</li> </ol>

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

Для получения зачета по дисциплине «**Электротехника**» обучающийся показывает знания на уровне воспроизведения и объяснения информации, навыки решения простых задач в области электротехники и электроники, умеет пользоваться современными средствами информационных технологий, владеет практическими навыками работы с электротехнической аппаратурой.

Зачет не ставится, если, студент показывает полную неподготовленность по курсу.

## Лабораторная работа № 1

Исследование линейной электрической цепи постоянного тока.

Цель работы:

1. Изучение основных законов линейных электрических цепей постоянного тока и методов их расчета.
2. Исследование распределения токов, напряжений и мощностей в разветвленной электрической цепи постоянного тока.

### 1. Теоретические сведения

Электрической цепью называют совокупность устройств и объектов, образующих путь для электрического тока, электромагнитные процессы в которых могут быть описаны с помощью понятий ЭДС, тока и напряжения.

Генерирующие устройства преобразуют химическую, механическую, тепловую и световую энергии в электрическую. Это источники электрической энергии. На зажимах источников в процессе преобразования неэлектрической энергии в электрическую за счет действия сторонних сил создается ЭДС  $E$ . На рис. 1 приведены условные обозначения гальванического элемента ( $a$ ), генератора постоянного тока ( $b$ ), термопары ( $в$ ) и фотоэлемента ( $г$ ), преобразующих указанные виды энергии в электрическую.

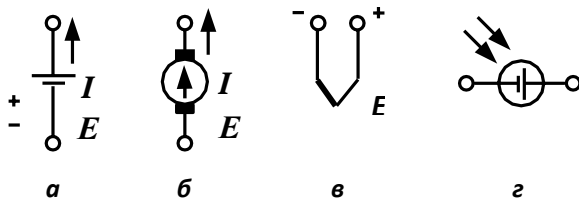


Рис. 1. Обозначения источников постоянного тока на схемах:  $a$  – гальванический элемент и аккумулятор;  $б$  – генератор постоянного тока;  $в$  – термопара;  $г$  – фотоэлемент

В приемниках происходят обратимые преобразования электрической энергии в другие виды энергии. Например, аккумулятор становится приемником в процессе его зарядки, когда электрическая энергия преобразуется в

химическую (рис. 2, а). В электрической машине, работающей в режиме двигателя, электрическая энергия превращается в механическую (см. рис. 2, б); в электрической печи (см. рис. 2, в) или резисторе (см. рис. 2, г) – в тепловую; в лампе накаливания (см. рис. 2, д) – в световую.

В электрической цепи источники и приемники соединяются проводами, которые обеспечивают передачу электрической энергии от источников к приемникам.

В электрические цепи часто включают вспомогательные и измерительные устройства. Вспомогательные элементы служат для управления режимом электрической цепи (например, коммутаторы), защиты от пере- напряжений или недопустимого значения тока (реле, предохранители).

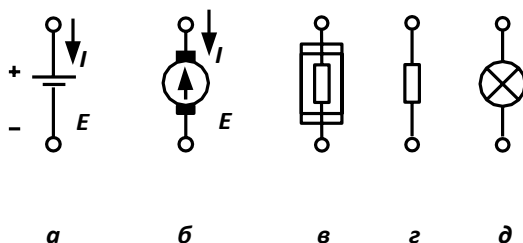


Рис. 2. Обозначения приемников на схемах: а – аккумулятор при зарядке; б – двигатель постоянного тока; в – электрическая печь; г – резистор; д – лампа накаливания

Основными характеристиками элементов электрических цепей являются зависимости их напряжения от тока. Такие зависимости называют вольт-амперными характеристиками (ВАХ).

Элементы электрической цепи делятся на активные и пассивные. Все источники электрической энергии являются активными элементами, они характеризуются определенным значением ЭДС  $E$ . Приемники электрической энергии могут быть как пассивными, так и активными.

Пассивными называются приемники, в которых не возникает ЭДС. ВАХ пассивных элементов проходят через начало координат – в отсутствие напряжения ток этих элементов равен нулю. Пассивные элементы характеризуются электрическим сопротивлением  $R$ , которое у одних приемников зависит от приложенного напряжения, а у других не зависит. В первом случае приемники имеют нелинейные ВАХ (рис. 3, а), поэтому их называют нелинейными элементами (выпрямительные диоды, стабилитроны и др.).

Реактивная мощность  $Q$  всей цепи определяется как алгебраическая сумма реактивных мощностей

$$Q = I_2^2(X_{LI}) + I_3^2(-X_{CI})$$

Полная мощность  $S = \sqrt{P^2 + Q^2}$ .

8. Коэффициент мощности цепи и углы сдвига фаз между напряжением  $U_{AB}$  и токами отдельных ветвей  $I$ ,  $I_1$ ,  $I_2$ ,  $I_3$ :

$$\cos \varphi = \frac{P}{S}; \quad \varphi = \arccos \frac{P}{S} \quad \text{или} \quad \varphi = \arctg \frac{Q}{P};$$

$$\varphi_1 = \arctg \frac{0}{R_3} = 0; \quad \varphi_2 = \arctg \frac{X_{LI}}{R_{LI} + R_1}; \quad \varphi_3 = \arctg \frac{-X_{CI}}{R_2}.$$

9. По табл.2 построить векторную диаграмму токов и напряжений. При построении учесть, что ток  $I_1$  имеет активный характер и совпадает по фазе с напряжением  $U_{AB}$ , ток  $I_2$  имеет индуктивный характер и отстает от напряжения  $U_{AB}$  на угол  $\varphi_2$ . Ток  $I_3$  имеет емкостный характер и опережает  $U_{AB}$  на угол  $\varphi_3$ .

Показать на векторной диаграмме, что  $\bar{U}_{AB} = \bar{U}_{R2} + \bar{U}_{CI}$  и  $\bar{U}_{AB} = \bar{U}_{R1} + \bar{U}_{LI}$ .

Удобный масштаб для построения векторной диаграммы:

$$m_i = 0,2 \text{ A / см}; \quad m_u = 10 \text{ B / см}.$$

10. Для схемы по рис. 21 определить коэффициент мощности приемника

$$\cos \varphi_{np} = \frac{R_{LI} + R_1}{Z_{np}}; \quad Z_{np} = \frac{U_{AB}}{I_{np}}.$$

Параметры  $R_1$ ,  $R_{LI}$ ,  $X_{LI}$ ,  $X_{CI}$  взять из табл.1.

11. Реактивная мощность приемника

$$Q_{np} = I_{np}^2(X_{LI}).$$

Реактивная мощность конденсатора  $CI$ :

$$Q_{C1} = I_C^2(-X_{C1}).$$

Реактивная мощность всей цепи при замкнутом  $PI$

$$Q = Q_{np} + Q_{C1}.$$

Полная мощность цепи при замкнутом  $PI$

$$S = U_{AB} I_{сети}.$$

Угол сдвига фаз между напряжением источника  $U_{AB}$  током сети  $I_{сети}$

$$\varphi = \arccos \frac{P}{S}.$$

12. По табл.3 построить векторную диаграмму токов для замкнутого положения  $PI$ . Убедиться, что подключение параллельно приемнику конденсатора  $C1$  уменьшает реактивную составляющую общего тока  $I_{сети}$ . При этом уменьшается угол  $\varphi$ , повышается коэффициент мощности  $\cos \varphi$  цепи при неизменной активной мощности приемника. Ток, потребляемый электрической цепью из сети, уменьшается.

13. Сделать выводы по работе.

#### Контрольные вопросы

1. Какие основные особенности имеют электрические цепи синусоидального тока?
2. Что понимается под мгновенным и действующим значениями синусоидального напряжения и тока?
3. Как определить максимальное и действующее значения синусоидального напряжения и тока?
4. Какие процессы происходят в цепи с активным сопротивлением, питаемой синусоидальным током?
5. О чем свидетельствует то обстоятельство, что в цепи с активным сопротивлением мгновенная мощность всегда положительна?
6. Какие процессы, происходят в цепи с индуктивностью и в цепи с емкостью, питаемых синусоидальным током?
7. Какой сдвиг по фазе между напряжением и током в цепи с индуктивностью и в цепи с емкостью?
8. Какие процессы происходят в цепи с последовательным соединением резистора, катушки и конденсатора?

## Лабораторная работа №4

Исследование трехфазной цепи при соединении приемников энергии звездой.

Цель работы:

1. Исследовать работу трехфазных приемников, соединенных звездой в различных режимах, включая аварийные.
2. Экспериментально установить соотношения между линейными и фазными напряжениями при симметричном и несимметричном режимах работы трехфазной электрической цепи при соединении приемников энергии звездой с нейтральным проводом, звездой без нейтрального провода.
3. Объяснить назначение нейтрального провода.
4. Овладеть методикой построения векторных диаграмм по экспериментальным данным.

### 1. Теоретические сведения

#### Трехфазные электрические цепи

В *трехфазной системе* электрических цепей действуют три синусоидальные ЭДС одной и той же частоты, сдвинутые друг относительно друга по фазе и создаваемые общим источником энергии.

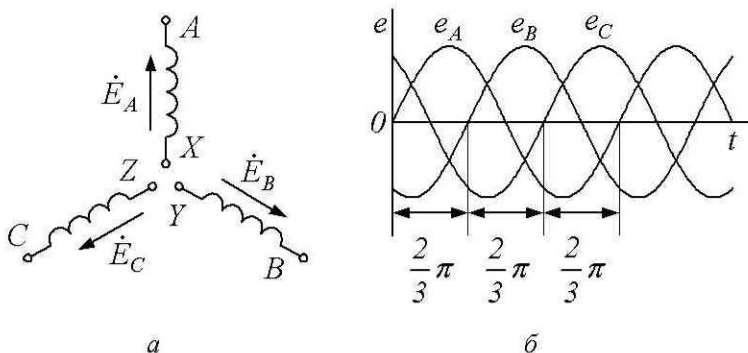


Рис. 1. Трехфазная система: *a* - условное обозначение обмоток генератора, *б* - временная диаграмма ЭДС

В качестве источника электрической энергии в трехфазных цепях используются синхронные генераторы, принцип действия и конструкция которых будет рассмотрена в разделе «Электрические машины».

В трех обмотках статора синхронного генератора индуцируются указанные три ЭДС.

При положительных направлениях ЭДС в обмотках синхронного генератора от концов  $X, Y, Z$  к началам  $A, B, C$  ЭДС изменяется в соответствии с выражениями:

$$e_A = E_m \sin \omega t;$$

$$e_B = E_m \sin(\omega t - 2\pi / 3);$$

$$e_C = E_m \sin(\omega t - 4\pi / 3) = E_m \sin(\omega t + 2\pi / 3).$$

Положительные направления ( $a$ ) и графики ( $b$ ) ЭДС синхронного генератора представлены на рис. 1.

В комплексной форме действующие значения ЭДС:

$$\dot{E}_A = E; \quad \dot{E}_B = E \cdot e^{-j2\pi/3}; \quad \dot{E}_C = E \cdot e^{j2\pi/3}.$$

Векторная диаграмма симметричной трехфазной системы для прямой ( $a$ ) и обратной ( $b$ ) последовательности фаз показана на рис. 2.

Из векторной диаграммы следует, что сумма ЭДС в любой момент времени равна нулю:

$$\dot{E}_A + \dot{E}_B + \dot{E}_C = 0.$$

От последовательности чередования фаз зависит направление вращения асинхронного двигателя.

На практике, как правило, приемники подключаются не непосредственно к генератору, а к вторичным обмоткам трехфазных трансформаторов, в которых также действует симметричная система ЭДС.

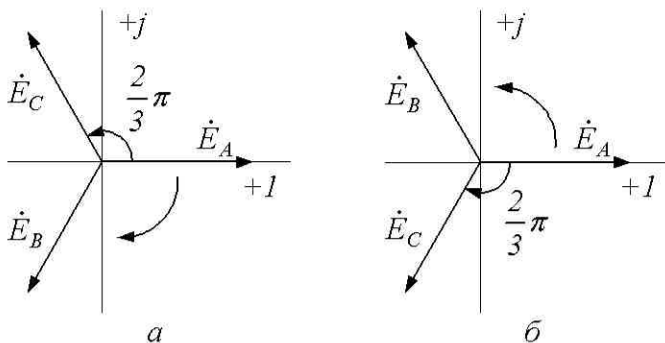


Рис. 2. Порядок чередования фаз:  $a$  – прямая последовательность;  $b$  – обратная последовательность

### Соединение обмоток источника и фаз приемника звездой

В связанной системе ЭДС концы фаз  $X, Y, Z$  соединяются в один общий узел  $N$ , называемый *нейтральной точкой генератора*. Такое соединение обмоток называют соединением *звездой* ( $Y_0$ ).

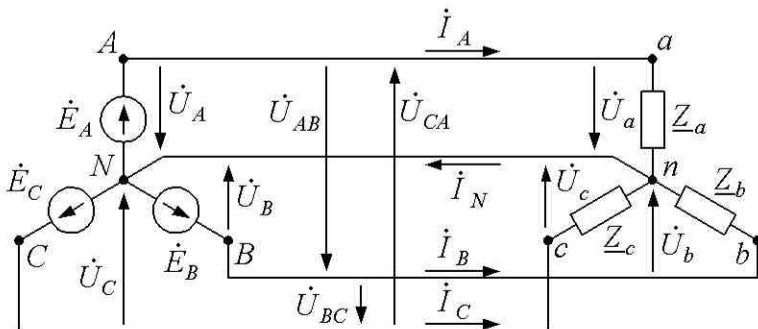


Рис. 3. Схема четырехпроводной трехфазной цепи

Концы фаз приемника, например, осветительные нагрузки  $Z_a, Z_b, Z_c$  также соединяем в одну точку звездой. Точки  $N$  и  $n$  называют нейтральными, а провод, их соединяющий, — *нейтральным*. Провода  $A-a, B-b, C-c$ , соединяющие начала фаз источника (трансформатора) и приемника, называют *линейными*.

Напряжение между началом и концом фазы называют *фазным*:  $U_A, U_B, U_C, U_\phi$ . За условно положительное направление ЭДС источника принимают направление от конца к началу фазы.

Положительное направление тока в фазах совпадает с положительным направлением ЭДС, а положительное направление напряжения на фазе приемника совпадает с положительным направлением тока в фазе. Положительным направлением напряжения на фазе источника является направление от начала фазы к ее концу, т. е. противоположно положительному направлению ЭДС.

Напряжение между линейными проводами называют *линейным*:  $U_{AB}, U_{BC}, U_{CA}, U_L$ . За положительное направление линейных напряжений принято направление от  $A$  к  $B$ , от  $B$  к  $C$ , от  $C$  к  $A$ .

Линейные напряжения определяют через фазные. Это соотношение можно получить из уравнения, написанного по второму закону Кирхгофа для контура, например,  $A-N-B-A$ , если принять направление обхода контура от точки  $A$  к точке  $N$  и т. д.:

$$\begin{aligned}\dot{U}_A - \dot{U}_B - \dot{U}_{AB} &= 0; & \dot{U}_{AB} &= \dot{U}_A - \dot{U}_B; \\ \dot{U}_B - \dot{U}_C - \dot{U}_{BC} &= 0; & \dot{U}_{BC} &= \dot{U}_B - \dot{U}_C; \\ \dot{U}_C - \dot{U}_A - \dot{U}_{CA} &= 0; & \dot{U}_{CA} &= \dot{U}_C - \dot{U}_A.\end{aligned}$$

Из топографической диаграммы напряжений, построенной в соответствии с этими уравнениями (рис. 4), можно определить как количественные, так и фазовые соотношения между фазными и линейными напряжениями симметричной системы. Векторы линейных напряжений  $\dot{U}_{AB}$ ,  $\dot{U}_{BC}$ ,  $\dot{U}_{CA}$  сдвинуты относительно друг друга на угол  $2\pi/3$  и опережают соответственно векторы фазных напряжений  $\dot{U}_A$ ,  $\dot{U}_B$ ,  $\dot{U}_C$  на угол  $\pi/6$ . Из заштрихованного треугольника  $AOD$  следует, что:

$$\frac{U_L}{2} = U_\Phi \cdot \cos \pi/6 = U_\Phi \cdot \frac{\sqrt{3}}{2} \quad \text{то есть} \quad U_L = \sqrt{3} \cdot U_\Phi.$$

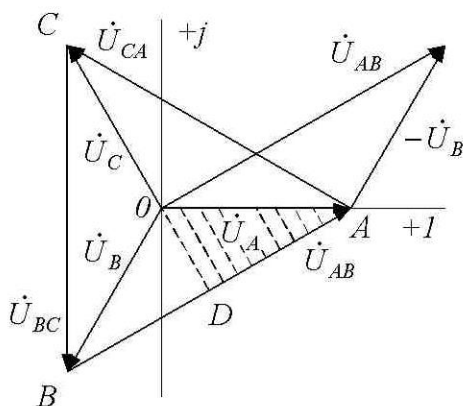


Рис. 4. Векторная диаграмма напряжений симметричного источника, соединенного звездой

Таким образом, если система напряжений симметрична, то при соединении звездой линейное напряжение в 1,73 раза больше фазного.

Применяемые на практике напряжения переменного тока отличаются друг от друга в 1,73 раза. Если  $U_L = 220\text{ В}$ , то  $U_\Phi = 127\text{ В}$ , что обозначают:  $220/127$ ;  $380/220$ ;  $660/380\text{ В}$ .

Если комплексные сопротивления фаз трехфазного приемника равны между собой  $\underline{Z}_a = \underline{Z}_b = \underline{Z}_c = Z \cdot e^{j\varphi}$ , то его называют симметричным, например, обмотки трехфазного асинхронного двигателя.

Подобно фазам обмоток источника, фазы приемника соединяют звездой или треугольником, причем способ соединения фаз обмоток источника не предопределяет способа соединения приемников.

Если пренебречь сопротивлениями фазного и линейного проводов, то фазные напряжения приемника будут равны фазным напряжениям источника:  $U_A = U_a$ ,  $U_B = U_b$ ,  $U_C = U_c$ .

При подключении приемников к трехфазному источнику, обмотки которого соединены звездой, ток протекает по обмоткам источника, линейным проводам и фазам приемника. Ток в фазах источника или приемника называют фазным ( $I_\phi$ ), ток в линейных проводах — линейным ( $I_L$ ).

Так как обмотка источника, линейный провод и приемник, принадлежащие одной фазе, включены последовательно, то при соединении звездой линейный ток равен фазному:

$$I_L = I_\phi.$$

В фазе приемника он определяется по закону Ома:

$$\dot{I}_A = \frac{\dot{U}_A}{\underline{Z}_a}; \quad \dot{I}_B = \frac{\dot{U}_B}{\underline{Z}_b}; \quad \dot{I}_C = \frac{\dot{U}_C}{\underline{Z}_c}.$$

Ток в нейтральном проводе  $I_N$ , определенный по первому закону Кирхгофа (для узла  $n$ ):

$$\dot{I}_A + \dot{I}_B + \dot{I}_C = \dot{I}_N,$$

равен геометрической сумме фазных токов.

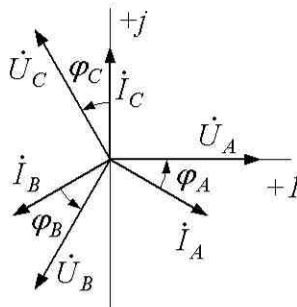


Рис. 5. Векторная диаграмма напряжений и токов симметричного приемника, соединенного звездой

При симметричной системе напряжений и симметричной нагрузке, когда  $\underline{Z}_a = \underline{Z}_b = \underline{Z}_c$ , т. е. когда  $R_a = R_b = R_c$  и  $X_a = X_b = X_c$  фазные токи равны по значению и углы сдвига фаз одинаковы:

$$I_A = I_B = I_C = I_\phi, \quad \varphi_A = \varphi_B = \varphi_C = \arctg \frac{X_\phi}{R_\phi}.$$

Фазные токи при симметричной нагрузке образуют симметричную систему, вследствие чего ток  $I_N$  в нейтральном проводе равен нулю (рис. 5). Это позволяет перейти к трехпроводной трехфазной цепи (рис. 6).

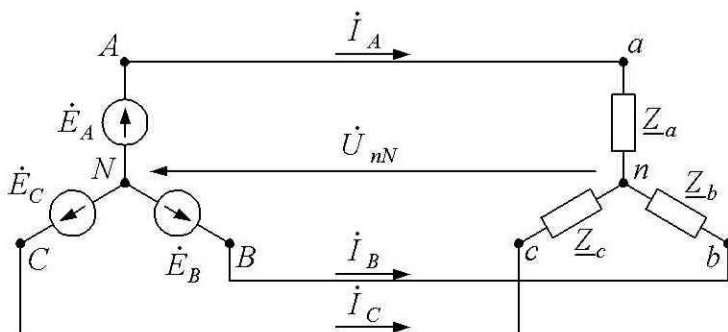


Рис. 6. Схема трехпроводной трехфазной цепи при соединении фаз приемника звездой

Очевидно, для симметричных приемников справедливо ранее выведенное соотношение между фазными и линейными напряжениями, так как фазные и линейные напряжения приемника соответственно равны фазным и линейным напряжениям генератора, а фазные и линейные токи равны между собой.

### Трехфазная цепь с несимметричным приемником

В ряде случаев реальные приемники являются несимметричными.

В осветительных нагрузках используют схему соединения звезда — звезда с нулевым проводом. Если в такую четырехпроводную звезду включить несимметричный приемник, то благодаря наличию нейтрального провода напряжения на каждой фазе приемника будут равны соответствующим фазным напряжениям источника, как по амплитуде, так и по фазе.

Но фазные токи будут разными. При этом фазные напряжения приемника остаются постоянными при любых нагрузках фаз, и ток каждой фазы зависит только от проводимости данной фазы. Нейтральный про-

вод, по которому протекает ток  $I_N$ , выравнивает фазные напряжения приемника.

При обрыве линейного провода ток в нейтральном проводе существует. При обрыве нейтрального провода между точками  $N$  и  $n$  может возникнуть напряжение. Тогда на фазах приемника появляются значительные перенапряжения. Поэтому в нейтральный провод не включают плавкие предохранители и выключатели.

При анализе трехпроводной несимметричной нагрузки, соединенной звездой (рис. 6), сначала определяют напряжение между нейтральными точками  $N$  и  $n$  (напряжение смещения нейтрали) по формуле межузлового напряжения:

$$\dot{U}_{nN} = \frac{\dot{U}_A \cdot \frac{1}{\underline{Z}_a} + \dot{U}_B \cdot \frac{1}{\underline{Z}_b} + \dot{U}_C \cdot \frac{1}{\underline{Z}_c}}{\frac{1}{\underline{Z}_a} + \frac{1}{\underline{Z}_b} + \frac{1}{\underline{Z}_c}}.$$

Далее определяют фазные напряжения приемника:

$$\dot{U}_a = \dot{U}_A - \dot{U}_{nN};$$

$$\dot{U}_b = \dot{U}_B - \dot{U}_{nN};$$

$$\dot{U}_c = \dot{U}_C - \dot{U}_{nN},$$

а по ним — фазные токи приемника:

$$\dot{I}_A = \frac{\dot{U}_a}{\underline{Z}_a}; \quad \dot{I}_B = \frac{\dot{U}_b}{\underline{Z}_b}; \quad \dot{I}_C = \frac{\dot{U}_c}{\underline{Z}_c}.$$

Векторная диаграмма приведена на рис. 7.

Из диаграммы видно, что изменение положения нейтрали приводит к изменению фазных напряжений приемника, а значит, и токов в фазах.

В процессе работы трехфазных нагрузок возможны аварийные или эксплуатационные режимы, вызванные обрывом линейного (фазного) проводов или коротким замыканием в фазе. Пусть в исходном режиме нагрузка симметрична ( $\underline{Z}_a = \underline{Z}_b = \underline{Z}_c$ ). Система фазных токов симметрична,  $U_{nN} = 0$  и система фазных напряжений приемника также симметрична. При обрыве фазы  $a$  приемника фазы  $b$  и  $c$  окажутся соединенными последовательно и будут подключены к линейному напряжению  $U_{BC}$ . Векторная диаграмма приведена на рис. 8, а.

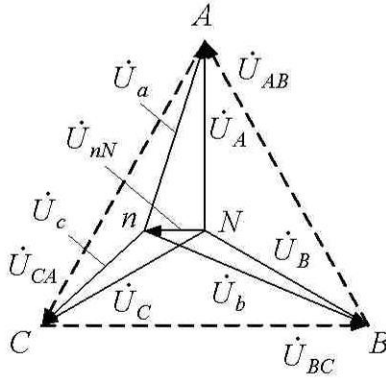


Рис. 7. Топографическая диаграмма напряжения трехпроводной несимметричной цепи, соединенной звездой

Напряжение смещения нейтрали:

$$\dot{U}_{nN} = \frac{\dot{U}_B \cdot \frac{1}{Z_b} + \dot{U}_C \cdot \frac{1}{Z_c}}{\frac{1}{Z_b} + \frac{1}{Z_c}} = -\frac{\dot{U}_A}{2}.$$

Вектор  $\dot{U}_{nN}$  на рис. 8,а определяет точку  $n$ , которая делит вектор  $\dot{U}_{BC}$  пополам. Фазное напряжение  $\dot{U}_a$  увеличивается в 1,5 раза, а напряжения  $\dot{U}_b$  и  $\dot{U}_c$  уменьшаются в  $\frac{2}{\sqrt{3}}$  раза, так как становятся равными половине линейного напряжения.

Ток в фазе  $a$  равен нулю, а токи в фазах  $b$  и  $c$  уменьшаются в  $\frac{2}{\sqrt{3}}$  раза. При активной нагрузке, углы  $\varphi = 0$  и токи совпадают по фазе с фазными напряжениями.

*При коротком замыкании фазы  $a$*  потенциал нейтральной точки  $n$  приемника близок к потенциалу точки  $A$  источника. На векторной диаграмме рис. 8,б точка  $n$  совпадает с точкой  $A$ . Фазное напряжение  $\dot{U}_a = 0$ , а напряжения  $\dot{U}_b = -\dot{U}_{AB}$  и  $\dot{U}_c = \dot{U}_{CA}$ , т. е. увеличиваются

до линейных. По этой причине фазные токи  $\dot{I}_b$  и  $\dot{I}_c$  возрастают в  $\sqrt{3}$  раз, совпадая по фазе со своими напряжениями. Ток  $\dot{I}_a = -(\dot{I}_b + \dot{I}_c)$ , как видно из диаграммы, в  $\sqrt{3}$  раз больше этих токов и в 3 раза больше тока в исходном режиме.

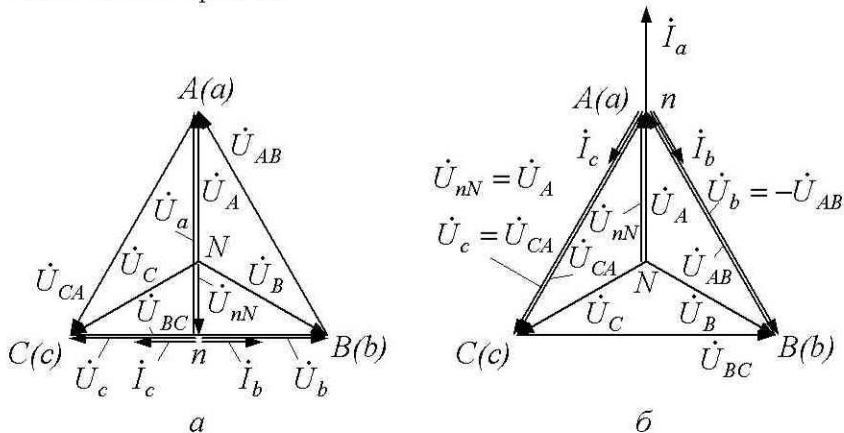


Рис. 8. Векторная диаграмма напряжений и токов при: а - обрыве фазы а приемника; б - коротком замыкании в фазе а приемника

### Мощность в трехфазной системе

Активная мощность трехфазного приемника равна арифметической сумме активных мощностей фаз (для несимметричной системы: арифметической сумме активных мощностей фаз и нулевого провода).

При симметричной системе напряжений ( $U_A = U_B = U_C = U_\phi$ ) и симметричной нагрузке ( $I_A = I_B = I_C = I_\phi$ , и  $\varphi_A = \varphi_B = \varphi_C = \varphi_\phi$ ) фазные мощности равны  $P_A = P_B = P_C = P_\phi = U_\phi I_\phi \cos \varphi_\phi$ .

Активная мощность трехфазного приемника:

$$P = 3P_\phi = 3U_\phi I_\phi \cos \varphi_\phi.$$

Реактивная мощность в трехфазной симметричной системе равна алгебраической сумме реактивных мощностей в каждой фазе:

$$Q = Q_A + Q_B + Q_C = 3Q_\phi,$$

$$Q = 3Q_\phi = 3U_\phi I_\phi \sin \varphi_\phi.$$

Полная мощность:

$$S = \sqrt{P^2 + Q^2}.$$

За номинальные величины обычно принимают линейные напряжения и токи, поэтому мощности удобнее выражать через линейные величины  $U_L$  и  $I_L$ .

При соединении фаз приемника звездой:

$$U_{\Phi} = \frac{U_L}{\sqrt{3}}; \quad I_{\Phi} = I_L.$$

При соединении фаз приемника треугольником:

$$U_{\Phi} = U_L; \quad I_{\Phi} = \frac{I_L}{\sqrt{3}}.$$

Поэтому независимо от схемы соединения фаз симметричного приемника мощности имеют вид:

$$P = \sqrt{3} U_L I_L \cos \varphi_{\Phi},$$

$$Q = \sqrt{3} U_L I_L \sin \varphi_{\Phi},$$

$$S = \sqrt{3} U_L I_L.$$

## 2. Программа работы

1. Выбрать необходимые для выполнения работы приборы и собрать электрическую схему в соответствии с рис. 9.  
Определить цену деления приборов, используемых в работе.
2. После проверки схемы преподавателем подать на стенд напряжение и произвести необходимые измерения токов и напряжений для режимов указанных в таблице 1.
3. Включить рубильники  $P1$  и  $P2$ . Установить с помощью реостатов  $R_{ax}$ ,  $R_{by}$ ,  $R_{cz}$  симметричную нагрузку в фазах, т. е. одинаковые токи:

$$I_A = I_B = I_C.$$

Линейные напряжения  $U_{AB}$ ,  $U_{BC}$ ,  $U_{CA}$  измеряются между клеммами « $A$ » и « $B$ », « $B$ » и « $C$ », « $C$ » и « $A$ » сети, а фазные -

естественная, которую имеет двигатель при замкнутых накоротко щетках. Механические характеристики рис. 14, б построены с учетом того, что частота вращения магнитного поля и значение максимального электрического момента  $M_{max}$  не зависят от активного сопротивления роторной цепи, а значение критической частоты вращения  $n_{кр}$  обратно пропорционально этому сопротивлению.

Как видно из семейства механических характеристик, начальный пусковой момент  $M_n$  асинхронного двигателя зависит от активного сопротивления фазы обмотки ротора: увеличение активного сопротивления приводит к увеличению пускового момента. Он может быть даже равен максимальному, если общее сопротивление роторной цепи будет таким, при котором критическое скольжение станет равно единице.

Дальнейшее увеличение активного сопротивления фазы обмотки ротора приводит вновь к ослаблению начального пускового момента (характеристика 4 на рис. 14, б).

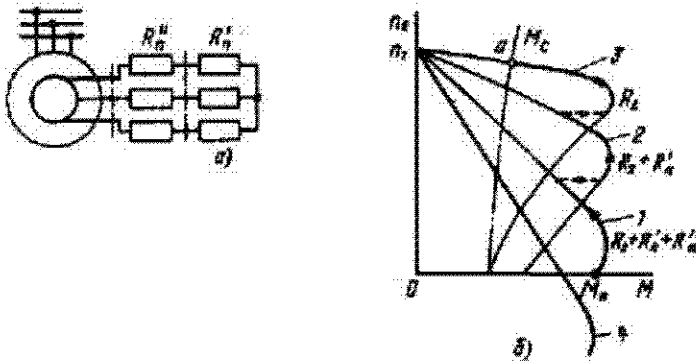


Рис. 14. Схема включения асинхронного двигателя с контактными кольцами (а) и его механические характеристики при разных значениях сопротивления реостата, включенного в цепь ротора (б)

Пуск двигателя происходит с момента включения обмотки статора в сеть. При этом в ротор вводят все секции пускового реостата, благодаря чему начальный пусковой момент значительно увеличивается (характеристика 1), а пусковой ток уменьшается. По мере разгона двигателя токи ротора и статора уменьшаются и часть пускового реостата  $R''_n$  закорачивают. Рабочая точка перемещается на новую характеристику 2, соответствующую сопротивлению  $(R_2 + R'_n)$ . Затем закорачивают весь пусковой реостат и рабочая точка перемещается по естественной механической характеристике до точки, в которой электромагнитный момент двигателя не станет равным моменту сопротивления (точка а на рис. 14, б).

Обычно реостат разбивают на 5—10 ступеней, которые автоматически закорачиваются по мере разгона ротора.

Применение двигателей с контактными кольцами обеспечивает уменьшение времени пуска.

### **Пуск двигателя с короткозамкнутым ротором**

Для улучшения пусковых свойств двигателей с короткозамкнутым ротором их выполняют специальной конструкции, например, алюминиевые стержни «беличьего колеса» заливают в глубокие пазы.

Благодаря эффекту вытеснения тока двигатель с глубоким пазом на роторе имеет условия пуска, аналогичные двигателю с фазным ротором, так как «автоматически» плавно уменьшается активное сопротивление ротора по мере его разгона. Такие двигатели имеют повышенный пусковой момент, т. е. сокращенное время разгона.

### **Регулирование частоты вращения**

#### *Полюсное регулирование*

Этот способ регулирования основан на изменении числа пар полюсов вращающегося магнитного поля статора, т. е. на изменении частоты вращения магнитного поля  $n_1 = 60f_1/p$ .

Регулирование скорости путем переключения числа полюсов  $p$  - ступенчатое.

Следует иметь в виду, что частоты вращения при частоте сети 50 Гц и  $p = 1$  и  $2$  соответственно 3000 и 1500 об/мин, а при  $p = 5$  и  $6$  - 600 и 500 об/мин. При большем числе полюсов разница между частотами вращения уменьшается.

Двигатели с изменением числа пар полюсов называются многоскоростными. Промышленно выпускаются двигатели на две, три и четыре скорости.

#### *Частотное регулирование*

В последние годы все большее распространение получает регулирование скорости двигателя посредством изменения частоты напряжения на статорной обмотке. При регулировании частоты скорость можно плавно изменять так, что ее максимальное значение будет в десятки или сотни раз превышать минимальное.

При осуществлении частотного регулирования учитывается, что значение максимального электрического момента  $M_{\max}$  пропорционально квадрату магнитного потока полюса вращающегося поля. Магнитный поток полюса  $\Phi_{\Gamma}$  в свою очередь, определяется действующим значением и частотой фазного напряжения статора. Поэтому, если при регулировании частоты вращения ротора желательно, например, сохранить неизменным значение максимального электромагнитного момента, то нужно обеспечить выполнение условия  $U_1/f_1 = \text{const}$  - одновременно с регулиро-

ванием частоты должно изменяться и действующее значение напряжения.

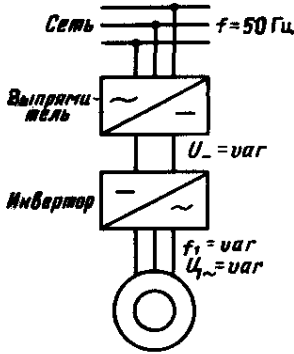


Рис. 15. Схема включения асинхронного двигателя с частотным регулированием скорости

Эту сложную задачу решают с помощью современных электронных устройств, которые включают между промышленной сетью и асинхронным двигателем (рис. 15). Как следует из приведенной упрощенной схемы, при частотном регулировании осуществляется двукратное преобразование электрической энергии: вначале напряжение трехфазной сети выпрямляется, а затем инвертор преобразует выпрямленное напряжение в трехфазную систему напряжений нужной частоты. В системе преобразования предусмотрено автоматическое согласование значений  $U_1$  и  $f_1$ , обеспечивающее требуемое значение максимального электромагнитного момента.

Семейство механических характеристик двигателя с частотным регулированием частоты вращения изображено на рис. 16. Логика работы тиристорного преобразователя зависит от того в какую сторону от  $n_{ном}$  требуется осуществлять регулирование. Если нужно обеспечить  $n < n_{ном}$ , преобразователь автоматически создает условия неизменности максимального момента двигателя - одновременно с заданным снижением значения  $f_1$  соответственно уменьшается и значение  $U_1$ . Для случая  $n > n_{ном}$  соблюдение условия

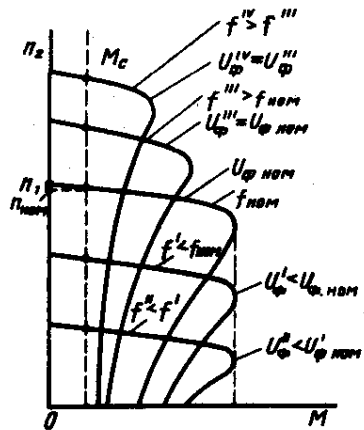


Рис. 16. Механические характеристики двигателя с частотным регулированием скорости

постоянства  $M_{\max}$  уже не выполняется, так как требует регулирования напряжения  $U_1$  выше номинального, кроме того, во избежание перегрузки двигателя по мощности, его длительная работа при частотах вращения, превышающих номинальную, допустима только при соответствующем снижении момента сопротивления на валу. Частотное регулирование экономично, однако габариты преобразователя частоты превышают габариты двигателя. Кроме того, надежность работы преобразователей пока еще недостаточна.

### Реостатное регулирование

Реостатное регулирование частоты вращения ротора трехфазных асинхронных двигателей с контактными кольцами осуществляется при помощи трехфазного реостата, включаемого в цепь обмотки ротора так же, как и пусковой реостат (см. рис. 14, а). В отличие от пускового реостата его рассчитывают на длительный режим работы и называют регулировочным реостатом. Семейство механических характеристик двигателя с регулировочным реостатом ничем не отличается от характеристик с пусковым реостатом (см. рис. 14, б). Они свидетельствуют о том, что с увеличением сопротивления регулировочного реостата частота вращения ротора снижается.

Если момент сопротивления нагрузки неизменен, то амплитуды токов в обмотке ротора при реостатном регулировании сохраняются почти неизменными. Это означает, что с увеличением сопротивления регулировочного реостата мощность потерь в нем возрастает. Номинальная мощность регулировочного реостата обычно соизмерима с мощностью двигателя и, как следствие этого, он имеет большие габариты. Поэтому реостатный способ регулирования частоты вращения асинхронных двигателей является неэкономичным. Однако он прост и обеспечивает плавное

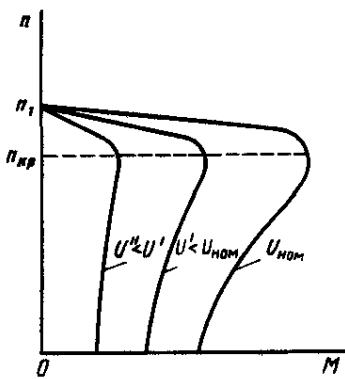


Рис. 17. Регулирование частоты вращения изменением напряжения питания

изменение частоты вращения в широких пределах. Его иногда применяют для регулирования частоты вращения двигателей средней мощности.

Существует еще несколько возможных методов регулирования. При изменении напряжения, подводимого к статору машины, механические характеристики изменяются так, как показано на рис. 17: максимальный момент изменяется пропорционально квадрату напряжения, а критическое скольжение остается неизменным. Критическое

скольжение, как правило, не превышает нескольких процентов, поэтому диапазон регулирования частоты вращения узкий. Снижение максимального момента уменьшает запас по устойчивости работы двигателя.

Иногда находит применение комбинированный способ регулирования, когда изменяются подводимое к двигателю напряжение и активное сопротивление ротора. Возможно регулирование частоты введением ЭДС в цепь ротора. Такие машины получили название асинхронных двигателей двойного питания.

В заключение отметим, что по сравнению с двигателями постоянного тока в настоящее время асинхронные двигатели имеют меньшие возможности по экономичному, надежному и плавному регулированию частоты вращения в широком диапазоне, что является их основным недостатком.

### 3. Описание лабораторной установки

Лабораторная работа выполняется на универсальном стенде, где установлены необходимые приборы и оборудование. Электрическая схема лабораторной установки представлена на рис. 18.

В работе используется трехфазный асинхронный двигатель с фазным ротором АД, включаемый в сеть с помощью автомата  $B_1$  и универсального переключателя УП. Для изменения сопротивления в цепи ротора служит переключатель  $R_d$ . В качестве нагрузки для АД используется машина постоянного тока МПТ, работающая в режиме генератора независимого возбуждения. Нагрузкой генератора служит реостат  $R_H$ , состоящий из четырех секций, переключаемых с помощью универсального переключателя.

Обмотка независимого возбуждения имеет выводы, обозначенные на стенде III1 и III2. Для регулирования тока возбуждения предназначен реостат  $R_{OB}$ .

Для определения частоты вращения двигателя служит тахогенератор (ТГ), соединенный с таховольтметром ( $V_T$ ) за стендом.

### 4. Программа работы

1. Ознакомиться с оборудованием стенда и измерительными приборами. Определить цены деления приборов.
2. Собрать электрическую схему лабораторной установки на рис. 18.
3. После проверки схемы преподавателем, подать на стенд постоянное напряжение с помощью выключателя  $B_2$ . Установить номинальный ток возбуждения МПТ (см. паспортные данные стенда).
4. Установить реостат  $R_d$  в положение "1" ( $R_d = \max$ ), включить выключатель  $B_1$  и поворотом ручки универсального переключателя (УП) в положение «вкл», запустить асинхронный двигатель.
5. Вывести сопротивление в цепи ротора асинхронного двигателя, по-

следовательно переключая реостат  $R_D$  из положения "1" ( $R_D = \max$ ) в положение "4" ( $R_D = 0$ ).

6. Снять данные для построения естественной и рабочих характеристик двигателя (при  $R_D = 0$ ), изменяя нагрузку с помощью сопротивления  $R_H$ . Результаты измерений занести в табл. 1.
7. Снять данные для построения искусственных механических характеристик для двух значений сопротивления в цепи ротора  $R_{Д1} > 0$ ,  $R_{Д2} > R_{Д1}$ . Результаты измерений занести в табл. 2.

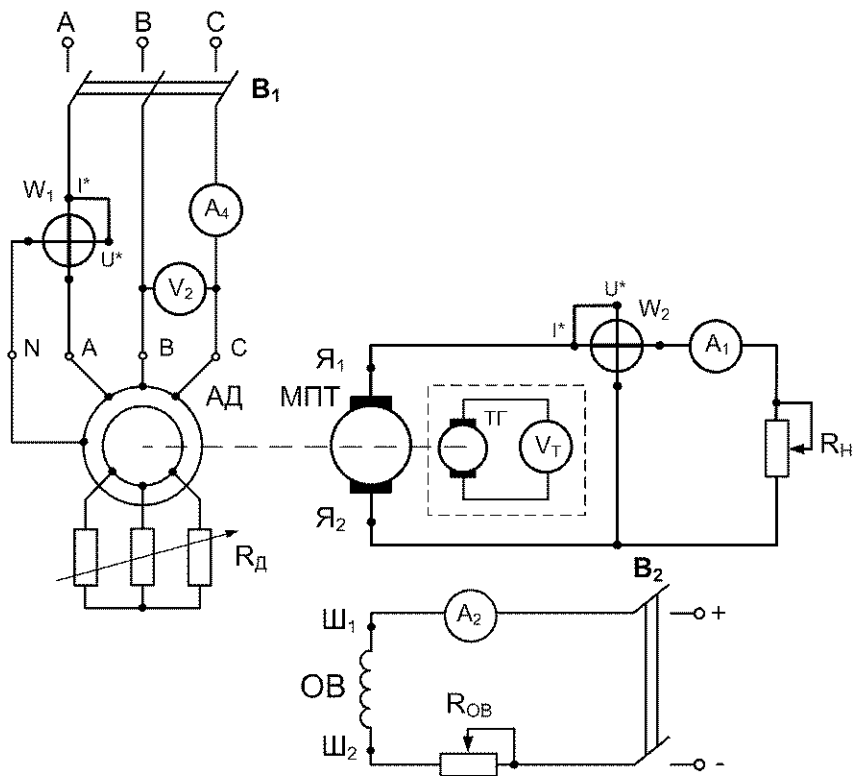


Рис. 18. Электрическая схема лабораторной установки

Таблица 1

Данные для построения естественной и рабочей характеристики

№ п/п	Измерено					Вычислено			
	$\omega$	$P_1$	$U_1$	$I_1$	$P_Г$	$M_Г$	$\eta$	$\cos \varphi$	$s$
	$c^{-1}$	Вт	В	А	Вт	Н·м	%		
1									
2									
3									
4									
5									

Примечание: показания  $W_1$  необходимо утраивать.

Таблица 2

Данные для построения искусственных механических характеристик

№ п/п	$R_{д1} > 0$				$R_{д2} > R_{д1}$			
	Измерено		Вычислено		Измерено		Вычислено	
	$\omega$	$P_Г$	$M_Г$	$s$	$\omega$	$P_Г$	$M_Г$	$s$
	$c^{-1}$	Вт	Н·м		$c^{-1}$	Вт	Н·м	
1								
2								
3								
4								
5								

## 5. Обработка результатов эксперимента

1. Мощность на валу асинхронного двигателя (потери в генераторе пренебрегаем)

$$P_2 = P_Г.$$

Момент на валу генератора

$$M_Г = \frac{P_2}{\omega}.$$

(момент на валу асинхронного двигателя принимаем равным моменту на валу генератора  $M = M_Г$ ).

Коэффициент мощности асинхронного двигателя

$$\cos \varphi_1 = \frac{P_1}{\sqrt{3} \cdot U_1 \cdot I_1},$$

где  $P_1$  – мощность, потребляемая трехфазной обмоткой статора из сети,  $P_1 = 3P_w$ ;

Коэффициент полезного действия асинхронной машины

$$\eta = P_2 / P_1,$$

Скольжение ротора

$$s = \frac{\omega_0 - \omega}{\omega_0},$$

где  $\omega_0$  - синхронная скорость  $\omega_0 = \frac{2 \cdot \pi \cdot f_1}{p}$ ;  $p$  - число пар полюсов,

определяется из паспортных данных асинхронного двигателя. Например у асинхронного двигателя А1-12-4 число полюсов равно 4 (на это указывает последняя цифра), тогда число пар полюсов  $p = 2$  (в два раза меньше),  $f_1 = 50 \text{ Гц}$ .

2. На основании данных табл.1 построить рабочие характеристики асинхронного двигателя  $\omega$ ,  $S$ ,  $\eta$ ,  $M$ ,  $I_1(P_2)$  на одном чертеже.

3. По данным табл.1 и 2 построить на одном чертеже естественную и две искусственных механические характеристики асинхронного двигателя  $\omega(M)$ .

4. Сделать вывод по работе, обратив внимание на особенности пуска асинхронного двигателя с фазным ротором и возможности регулирования частоты вращения.

## 6. Контрольные вопросы

1. Как устроен трехфазный асинхронный двигатель с короткозамкнутым ротором?
2. Каков принцип работы трехфазного асинхронного двигателя с короткозамкнутым ротором?
3. Объясните создание вращающегося магнитного поля трехфазной обмоткой машины переменного тока.
4. От чего зависит скорость вращения  $n_1$  вращающегося магнитного поля?
5. Что такое скольжение асинхронного двигателя?
6. Как электромагнитный момент зависит от скольжения?
7. Как производится реверсирование асинхронного двигателя?
8. Как устроен трехфазный асинхронный двигатель с фазным ротором?
9. Как производится пуск трехфазных асинхронных двигателей с фазным и короткозамкнутым ротором?
10. Перечислите виды потерь в асинхронном двигателе.
11. Как влияет изменение питающего напряжения на вращающий момент двигателя?

