

**«Электротехника
с основами
электроники»**

**Методические указания
по выполнению контрольных заданий
для учащихся заочного отделения
специальности
«Ремонтно-обслуживающее производство
в сельском хозяйстве»**

Преподаватель: В.Н. Савицкий

Красный Берег

ПРЕДИСЛОВИЕ

Программой дисциплины «Электротехника с основами электроники» предусмотрено изучение процессов, происходящих в электрических цепях постоянного и переменного тока, принципы действия и основных свойств электрических машин и аппаратов, особенностей электроснабжения строительной площадки.

Дисциплина изучается в тесной связи с такими дисциплинами общеобразовательного компонента, специального и общепрофессионального циклов, как «Физика», «Химия», «Математика», «Охрана окружающей среды и энергосбережение», «Экономика организации».

Выработка практических навыков и умений у учащихся осуществляется в процессе выполнения практических и лабораторных работ. Всем лабораторным работам должен предшествовать инструктаж по безопасному их ведению в лаборатории электротехники. Результаты инструктажа должны быть отражены в специальном журнале. Перед проведением каждой очередной работы проводится инструктаж на рабочем месте.

В результате изучения дисциплины учащиеся должны *знать на уровне представления*:

- физические принципы действия основных электротехнических и электронных приборов;
- классификацию электроизмерительных приборов;
- обозначения по стандартам электротехнических величин и устройств;
- основные единицы измерения электрических величин;

основные схемы электроснабжения строительных площадок;
знать на уровне понимания:

- основные законы электротехники;
- закономерности построения электрических схем;
- устройство и принцип действия электропривода оборудования;
- технические способы и средства, обеспечивающие электробезопасность;

уметь:

- анализировать назначение и принцип действия электрических и магнитных машин, аппаратов, электроприводов;
- подбирать по назначению электроизмерительные приборы;
- пользоваться электрическими аппаратами и приборами.

ОБЩИЕ МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ

Контрольная работа по общей электротехнике содержит шесть задач. Варианты для каждого учащегося – индивидуальные. Номер варианта выдается преподавателем. Перечень заданий, которые учащийся должен выполнить определяется по номеру его варианта: контрольная работа для нечётных вариантов включает задания - 1, 2, 3.1, 4, 5, и 6 для чётных 1, 2, 3.2, 4, 5 и 6; Задания, выполненные не по своему варианту, не засчитываются и возвращаются учащемуся.

Контрольная работа выполняется в отдельной тетради в клетку (24 листа). Условия задач переписывают полностью, оставляя поля шириной 25-30 мм для замечаний рецензента, а в конце тетради – 2-3 страницы для рецензии. Формулы и расчёты пишут чернилами, а схемы делают карандашом в соответствии с условными графическими обозначениями элементов (таблица 1); Графики и векторные диаграммы выполняют на миллиметровой бумаге с указанием масштаба. Решение задач обязательно ведут в Международной системе единиц (СИ). Страницы тетради нумеруют для возможности ссылки на них преподавателя. При получении результата вычисления в виде бесконечной периодической дроби в результате следует оставлять число с тремя значащими цифрами ($1,275=1,28$; $3,263874\dots=3,27$; $28,84748\dots=28,8$ и т.д.).

После получения работы с оценкой и замечаниями преподавателя надо исправить отмеченные ошибки, выполнить все указания и повторить недостаточно усвоенный материал. Если контрольная работа получила неудовлетворительную оценку, то учащийся выполняет её снова по старому или новому варианту в зависимости от указания рецензента и отправляет на повторную проверку. В случае возникновения затруднений при выполнении контрольной работы учащийся может обратиться в колледж для получения консультации.

После сдачи контрольной работы учащиеся допускаются к лабораторным работам, которые выполняются в период экзаменационно - лабораторной сессии. По каждой лабораторной работе составляется отчёт в установленной форме. Сдача экзаменов разрешается учащимся, получившим положительную оценку по контрольной работе и имеющим зачёт по лабораторным работам.

ЛИТЕРАТУРА

1. Свириденко, Э.А. Основы электротехники и электроснабжения / Э.А. Свириденко, Ф.Г. Китунович. Минск, 2000.
2. Данилов, И.А. Общая электротехника с основами электроники / И.А. Данилов, П.М. Иванов. М., 2000.
3. Попов, В.С. Общая электротехника с основами электроники / В.С. Попов, С.А. Николаев. М., 1976.
4. Михеев, Ю.А. Общая электротехника с основами электроники: Контрольные задания для учащихся-заочников всех технических специальностей, кроме электротехнических специальностей и некоторых энергетических специальностей средних специальных учебных заведений / Ю.А. Михеев, М.И. Григорьевский. М., 1989.
5. Усс, Л.В. Общая электротехника с основами электроники / Л.В. Усс, А.С. Красько, Г.С. Климович. Минск, 1990.
6. Типовая учебная программа дисциплины «Электротехника с основами электроники» для учреждений, обеспечивающих получение среднего специального образования / Г.В. Нефедович; Республиканский институт профессионального образования. – Минск: 2007.
7. Шихин, А.Я. Электротехника / А.Я. Шихин. М., 2001.

ВВЕДЕНИЕ

Цели, задачи и предмет дисциплины, её связь с другими учебными дисциплинами, значение для подготовки квалифицированных специалистов. [1, с. 4]

Преимущества электрической энергии перед другими видами энергии. Роль электрификации в развитии социально-экономического комплекса Республики Беларусь.

РАЗДЕЛ 1 ОБЩАЯ ЭЛЕКТРОТЕХНИКА

ТЕМА 1.1 ЭЛЕКТРИЧЕСКОЕ ПОЛЕ

Понятие об электрическом поле, его основные характеристики: напряженность, потенциал, электрическое напряжение. Закон Кулона. Проводники и диэлектрики. Проводники в электрическом поле, диэлектрическая проницаемость. Электроизоляционные материалы, их практическое использование.

Электрическая ёмкость. Плоский конденсатор. Соединение конденсаторов. Энергия электрического поля. [1, с. 5-13]

Вопросы для самоконтроля

1. Что называется электрическим полем?
2. Какими величинами характеризуется электрическое поле?
3. Чем определяется напряжённость электрического поля в данной точке?
4. Изобразите электрическое поле положительного точечного заряда? В каком направлении станет перемещаться пробный отрицательный заряд, помещённый в такое поле?
5. Сформулируйте закон Кулона напишите формулу закона Кулона?
6. Чем определяется потенциал электрического поля в данной точке? Напишите формулу потенциала.
7. Чему равна разность потенциалов между двумя точками электрического поля?
8. В каких единицах измеряется потенциал, что принято за 1 вольт?
9. Что называется напряжением между двумя точками электрического поля? В каких единицах измеряется напряжение?
10. Чему равна работа силы электрического поля при перемещении заряда по замкнутому контуру?
11. В чём основное различие между проводниками и диэлектриками?
12. Какие бывают проводники, и какой электропроводностью они обладают?
13. Назовите диэлектрики, используемые в электротехнике?
14. Что называют конденсатором?
15. Как определяется ёмкость конденсатора?
16. В каких единицах измеряется ёмкость конденсатора? Что принято за единицу ёмкости?
17. Напишите формулу ёмкости батарей конденсаторов при параллельном их соединении?
18. Напишите формулу ёмкости батарей конденсаторов при последовательном их соединении?

ТЕМА 1.2 ЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ ЦЕПИ ПОСТОЯННОГО ТОКА

Электрический ток. ЭДС и напряжение. Электрическое сопротивление и проводимость, зависимость сопротивления от температуры. Режимы работы цепи: холостой ход, короткое замыкание, переменная нагрузка. Электрическая цепь, её основные элементы, условные обозначения, применяемые на схемах. Закон Ома для участка цепи и для всей цепи. Энергия и мощность электрической цепи, баланс мощностей. Закон Джоуля-Ленца. [1, с. 14-18]

Нагрев проводов. Предельно допустимый (номинальный) ток в проводе. Плавкие предохранители. Выбор сечения провода в зависимости от допустимого тока. Основные материалы проводников. [1, с. 18-22]

Последовательное, параллельное и смешанное соединение резисторов. Потери напряжения в проводах линий электропередачи и допустимые её значения. Первый закон Кирхгофа. Второй закон Кирхгофа, его применение. Понятие о расчёте сложных цепей. Работа источника в режиме генератора и потребителя. [1, с. 22-23]

Вопросы для самоконтроля

1. Что такое электрический ток проводимости?
2. Что такое электрическая сила источника тока?
3. Сформулируйте закон Ома для участка цепи и для полной цепи. Запишите формулу закона Ома
4. В чём состоит цель расчёта электрических цепей и как она достигается?
5. Что такое ветвь, узел, контур электрической цепи?
6. Сформулируйте первый и второй законы Кирхгофа и запишите формулы.
7. В чём состоят основные особенности режимов холостого хода и короткого замыкания?
8. Почему изменяется напряжение на зажимах источника при увеличении нагрузки?
9. Как определяются эквивалентные сопротивления при последовательном соединении нескольких сопротивлений?
10. Как определяются эквивалентные проводимости и сопротивления при параллельном соединении нескольких сопротивлений?
11. Приведите примеры проводниковых материалов?
12. Назовите методы расчёта сложных цепей, и объясните в чём их особенность.

ТЕМА 1.3 ЭЛЕКТРОМАГНЕТИЗМ

Магнитное поле и его характеристики. Закон полного тока. Проводник с током в магнитном поле. Электромагниты, их практическое применение. Упрощённый расчёт электромагнита. Индуктивность и взаимная индуктивность. Энергия магнитного поля.

Магнитные свойства веществ. Ферромагнитные вещества и их намагничивание. Кривые намагничивания. Явление гистерезиса. Магнитомягкие и магнитотвёрдые материалы. Материалы с прямоугольной петлей гистерезиса, их использование в измерительной и счётно-решающей технике. Потери энергии при гистерезисе. [1, с. 32-41]

Электромагнитная индукция. Электродвижущая сила, индуцированная в контуре при изменении магнитного потока, сцепленного с контуром (формулировка Максвелла). Правило правой руки. Закон Ленца. Самоиндукция. Электродвижущая сила самоиндукции. Вихревые токи, их практическое значение.

Преобразование механической энергии в электрическую, принцип действия простейшего электрического генератора. Преобразование электрической энергии в механическую. Принцип действия простейшего электрического двигателя. [1, с. 41-44]

Вопросы для самоконтроля

1. Чем характеризуется интенсивность магнитного поля?
2. Что представляют собой линии магнитной индукции прямого проводника с током?
3. Сформулируйте правило буравчика?
4. Как определить направление линий магнитной индукции катушки с током?
5. В каких единицах измеряется магнитная индукция? Что принято за единицу магнитной индукции 1 Тл?
6. Что называется магнитодвижущей силой (МДС)? В каких единицах она измеряется?
7. Напишите формулу напряжённости магнитного поля катушки с током?
8. Сформулируйте закон Ампера. Напишите формулу закона Ампера.
9. Для чего служит правило левой руки? Сформулируйте правило левой руки.
10. Что называется собственной индуктивностью катушки? Что принято за единицу индуктивности 1 Гн?
11. Напишите формулу энергии магнитного поля и объясните аналогию с формулой кинетической энергии в механике.
12. Напишите формулу тягового усилия электромагнита.
13. Какие вещества называют диамагнитными, парамагнитными и ферромагнитными?
14. Что называют магнитной проницаемостью, относительной магнитной проницаемостью вещества?
15. Объясните петлю гистерезиса. Где применяют в электротехнике вещества с узкой петлей гистерезиса и с широкой петлей гистерезиса?
16. Назовите формулу магнитного потока простой магнитной цепи и объясните аналогию с законом Ома для электрической цепи.
17. Объясните, принцип действия простейшего электрического генератора.
18. Объясните, принцип действия простейшего электрического двигателя.

ТЕМА 1.4 ОДНОФАЗНЫЕ ЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ ЦЕПИ ПЕРЕМЕННОГО ТОКА

Переменный ток, его определение. Период и частота переменного тока.

Фаза, начальная фаза, сдвиг фаз. Действующее значение тока, напряжения и электродвижущей силы (ЭДС). Получение синусоидальной электродвижущей силы. Угловая скорость и угловая частота. Изображение синусоидальных величин кривыми (синусоидами и вращающимися векторами).

Особенности цепей переменного тока. Цепь переменного тока с активным сопротивлением. Векторная диаграмма, кривые тока, напряжения, мощности. Средняя (активная) мощность.

Цепь переменного тока с индуктивностью. Векторная диаграмма, кривые тока, напряжения и мощности. Реактивное индуктивное сопротивление. Средняя и максимальная (реактивная) мощность. Цепь переменного тока с ёмкостью. Ёмкостное сопротивление. Векторные диаграммы в цепях с ёмкостным сопротивлением.

Физические процессы в цепях с последовательным соединением активного, индуктивного и ёмкостного сопротивлений. Векторная диаграмма. Резонанс напряжений.

Физические процессы в цепях при параллельном соединении R, L, C . Разложение токов на активные и реактивные составляющие. Резонанс токов, его условие. Технико-экономические значения реактивной мощности в электрических системах. Использование конденсаторов для компенсации реактивной мощности. [1, с. 68-89]

Вопросы для самоконтроля

1. Что называют действующим значением переменного тока?
2. Что такое фаза, начальная фаза, сдвиг фаз?
3. Что называется активной мощностью переменного тока?
4. Чему равна активная мощность в цепи с индуктивностью и в цепи с ёмкостью?
5. Как строится треугольник мощности цепи переменного тока?
6. Что такое полное сопротивление цепи? Напишите формулу полного сопротивления.
7. Как изменяются X_L и X_C при увеличении частоты переменного тока?
8. Опишите порядок построения векторной диаграммы при последовательном и параллельном включении R, L, C элементов.
9. В какой цепи и при каком условии наступает резонанс токов?
10. В какой цепи и при каком условии наступает резонанс напряжений?
11. Как коэффициент мощности влияет на эффективность работы оборудования электротехнических установок?
12. Назвать способы повышения коэффициента мощности.

ТЕМА 1.5 ТРЁХФАЗНЫЕ ЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ ЦЕПИ

Трёхфазная ЭДС и трёхфазный ток. Получение трёхфазной ЭДС. Преимущества трёхфазной системы.

Соединение обмоток генератора энергии звездой и треугольником. Фазные и линейные напряжения и токи. Соотношение между фазными и линейными напряжениями и токами. Векторная диаграмма напряжений.

Соединение электроприемников звездой при симметричной и несимметричной нагрузке, расчёт цепи. Значение нулевого провода.

Соединение электроприемников треугольником при симметричной и несимметричной нагрузке, расчёт цепи. Значение нулевого провода.

Аварийные режимы в трёхфазных цепях. [1, с. 96-108]

Вопросы для самоконтроля

1. Каковы достоинства трёхфазной сети по сравнению с однофазной?
2. Как получать трёхфазную систему соединения звездой источника и фаз приёмника?
3. Какое напряжение в трёхфазной цепи называется фазными и какие линейными? Покажите на схеме эти напряжения.
4. Каково соотношение между фазными и линейными токами в симметричной трёхфазной системе, соединённой звездой?
5. Что такое смещение нейтрали приёмника?
6. Каково назначение четырёхпроводных трёхфазных цепей?
7. В каких случаях применяют трёхпроводную цепь?
8. К каким последствиям приводит обрыв нулевого провода при соединении несимметричной нагрузки звездой?
9. В чём состоит особенность расчёта трёхфазной цепи при симметричной нагрузке?

ТЕМА 1.6 ЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ ИЗМЕРЕНИЯ И ПРИБОРЫ

Классификация измерительных приборов. Погрешности измерений. Устройство и принцип действия магнитоэлектрических, электромагнитных, электродинамических, ферродинамических и индукционных измерительных механизмов. Измерение напряжения и тока. Устройство для расширения пределов измерения напряжения и тока. Измерение сопротивлений. Измерение мощности. Измерение расхода электрической энергии. Индукционные счетчики. Измерение неэлектрических параметров электрическими методами. [1, с. 46-56]

Вопросы для самоконтроля

1. Назовите различия между прямым и косвенным измерением?
2. Что такое абсолютная и относительная погрешности измерения?
3. Что такое класс точности прибора?
4. Объясните устройство и принцип действия приборов магнитоэлектрической системы, их достоинства и недостатки.
5. Объясните устройство и принцип действия приборов электромагнитной системы, их достоинства и недостатки.
6. Объясните устройство и принцип действия приборов электродинамической системы, их достоинства и недостатки.
7. Объясните устройство и принцип действия приборов ферродинамической системы, их достоинства и недостатки.
8. Объясните устройство и принцип действия приборов индукционной системы, их достоинства и недостатки.
9. Как измеряется сила тока в цепи, каким образом можно расширить пределы измерения амперметров?
10. Как измеряется напряжение, каким образом можно расширить пределы измерения вольтметров?
11. Почему амперметры включаются последовательно с приёмником, а вольтметры параллельно?
12. Как измеряется мощность цепи?
13. Как измеряется расход энергии цепью, почему индукционный счётчик не может работать в цепях постоянного тока?

ТЕМА 1.7 ТРАНСФОРМАТОРЫ

Назначение и применение трансформаторов. Устройство и принцип действия однофазного трансформатора. Величина ЭДС обмоток.

Режимы работы трансформатора. Режим холостого хода трансформатора. Определение коэффициента трансформации и мощности магнитных потерь в трансформаторе. Работа трансформаторов под нагрузкой. Режим короткого замыкания.

Потери энергии и КПД трансформатора.

Трёхфазные трансформаторы.

Специальные типы трансформаторов. Автотрансформаторы. Измерительные трансформаторы. Сварочные трансформаторы. [1, с. 113-128]

Вопросы для самоконтроля

1. Из каких частей состоит однофазный трансформатор, как они устроены и для чего служит каждая часть?
2. Объясните принцип действия трансформатора.
3. Напишите формулу ЭДС самоиндукции в первичной обмотке трансформатора и ЭДС взаимоиנדукции во вторичной обмотке.
4. Дайте определение коэффициента трансформации.
5. Какую мощность можно определить из опыта холостого хода?
6. Какую мощность можно определить из опыта короткого замыкания?
7. Объясните, что называется напряжением короткого замыкания трансформатора и чему равно это напряжение?
8. Объясните устройство трёхфазных трансформаторов, области их применения.
9. Объясните, что называется группой соединения обмоток трансформаторов.

10. Объясните устройство автотрансформаторов, области их применения.
11. Объясните устройство измерительных трансформаторов, области их применения.
12. Назовите особенности конструктивного исполнения сварочных трансформаторов.
13. Назовите основные параметры, которые указываются в паспорте трансформатора.

ТЕМА 1.8 ЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ МАШИНЫ ПЕРЕМЕННОГО ТОКА

Назначение машин переменного тока. Устройство трёхфазных асинхронных электродвигателей. Получение вращающегося магнитного поля в трёхфазных асинхронных электродвигателях. Принцип работы трёхфазного асинхронного электродвигателя. Зависимость величины ЭДС, частоты, индуктивного сопротивления и силы тока в обмотке ротора от скольжения. Вращающий момент асинхронного электродвигателя и зависимость его от скольжения и напряжения на зажимах электродвигателя. Механические характеристики. Пуск и ход трёхфазных асинхронных электродвигателей с короткозамкнутым и фазным роторами. Регулирование частоты вращения трёхфазных электродвигателей.

Однофазный асинхронный электродвигатель, его устройство, принцип действия, пуск в ход. Синхронный электродвигатель, его устройство, принцип действия, пуск в ход. [1, с. 131-154]

Вопросы для самоконтроля

1. Из каких частей состоит асинхронный трёхфазный двигатель, как они устроены и для чего служит каждая часть?
2. В чём различие конструкций короткозамкнутого и фазного роторов?
3. Объясните принцип действия трёхфазного асинхронного двигателя.
4. Что называется скольжением? Напишите формулу скольжения.
5. От чего зависит вращающий момент асинхронного двигателя? Напишите формулу вращающего момента?
6. Начертите график $M = f(s)$ и объясните, что такое критическое скольжение $s_{кр}$?
7. Почему пусковой ток в 5-7 раз превышает номинальное значение тока, а пусковой вращающий момент двигателя превышает номинальное значение только в 2 раза?
8. Для чего служит пусковой реостат в асинхронных двигателях с фазным ротором?
9. Укажите способы пуска асинхронных двигателей с короткозамкнутым ротором.
10. Укажите способы регулирования частоты вращения асинхронных двигателей.
11. Из каких основных частей состоит синхронный электродвигатель, как устроена каждая его часть и для чего они служат?
12. Объясните принцип действия трёхфазного синхронного двигателя.
13. Как осуществляется пуск синхронных двигателей?

ТЕМА 1.9 ЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ МАШИНЫ ПОСТОЯННОГО ТОКА

Устройство электрических машин постоянного тока. Основные элементы конструкции и их назначение. Принцип работы электрических машин постоянного тока в режиме генератора и в режиме двигателя. Генератор постоянного тока с независимым возбуждением, его схема и характеристики. Принцип и условия самовозбуждения генераторов постоянного тока. Генератор постоянного тока с параллельным возбуждением, его схема и характеристики. Генератор постоянного тока со смешанным возбуждением, его схема и характеристики.

Электродвигатель постоянного тока с параллельным возбуждением, его схема. Пуск двигателя, роль пускового и регулировочного реостатов. Вращающий момент, зависимость его от тока якоря и магнитного потока. Связь между вращающим моментом, мощностью и частотой вращения. Механическая характеристика двигателя с параллельным возбуждением. Регулирование частоты вращения двигателей постоянного тока с параллельным возбуждением. Реверсирование электродвигателей постоянного тока. Краткие сведения об электродвигателях постоянного тока с последовательным и смешанным возбуждением.

Область применения электрических машин постоянного тока. [1, с. 158-178]

Вопросы для самоконтроля

1. Какая машина постоянного тока называется генератором, а какая – двигателем?
2. Из каких основных частей состоит машина постоянного тока и для чего они служат?
3. Чему равна ЭДС машины постоянного тока? Напишите формулу.

4. Чему равен электромагнитный момент машины постоянного тока? Напишите формулу.
5. Объясните принцип действия машины постоянного тока в режиме генератора.
6. Объясните принцип действия машины постоянного тока в режиме двигателя.
7. Что называется коммутацией машины постоянного тока и её особенности? Как осуществляется компенсация ЭДС коммутации?
8. Как разделяются генераторы постоянного тока по способу возбуждения ЭДС?
9. Какие условия необходимы для самовозбуждения генератора постоянного тока с параллельным возбуждением?
10. Чем отличаются характеристики холостого хода и внешние характеристики в генераторах независимого и параллельного возбуждения?
11. Почему генератор с параллельным возбуждением не боится короткого замыкания?
12. Почему генераторы с последовательным возбуждением не нашли практического применения?
13. Устройство и применение генераторов со смешанным возбуждением.
14. Для чего служит пусковой реостат для двигателей постоянного тока с параллельным возбуждением? Почему он включается только при пуске?
15. Как можно регулировать частоту вращения якоря двигателя с параллельным возбуждением?
16. Как можно регулировать частоту вращения якоря двигателей с последовательным возбуждением?
17. Что произойдет при обрыве цепи возбуждения в процессе работы двигателя параллельного возбуждения?
18. Почему нельзя подключать в сеть двигатель с последовательным возбуждением без нагрузки?
19. Что называется механической характеристикой двигателей постоянного тока?
20. Чем отличаются механические характеристики двигателей параллельного и последовательного возбуждения?
21. Как осуществляется реверсирование в двигателях с параллельным возбуждением?
22. Устройство и механическая характеристика двигателя со смешанным возбуждением?

ТЕМА 1.10 ПОЛУПРОВОДНИКОВЫЕ ПРИБОРЫ И УСТРОЙСТВА

Физические основы работы полупроводниковых приборов. Электронная и дырочная проводимость, электронно-дырочный переход. Полупроводниковые диоды. Их вольтамперные характеристики, выпрямительные свойства. Полупроводниковые транзисторы $p-n-p$ и $n-p-n$ структуры. Схемы включения транзисторов с общим эмиттером, общей базой и общим коллектором.

Полупроводниковые управляемые вентили - тиристоры. Устройство тиристоров, принцип их работы и область практического применения.

Назначение и область применения выпрямительных устройств, сглаживающих фильтров и стабилизаторов напряжения и тока. Функциональные схемы выпрямительных устройств.

Полупроводниковые усилители, их назначение, классификация, принцип действия и режим работы, область применения. [1, с. 183-202]

Вопросы для самоконтроля

1. Как создаются полупроводники n -типа и p -типа?
2. Как создаётся $p-n$ -переход, каково его основное свойство?
3. В чём сущность односторонней проводимости $p-n$ -перехода?
4. Как устроен диод, его свойства и маркировка?
5. Что называется транзистором, как он устроен и его назначение?
6. Схемы включения транзисторов и их особенности.
7. Что называется тиристором, как он устроен и его назначение?
8. Устройство, назначение и принцип работы трёхэлектродных тиристоров (тринисторов).
9. Объясните вольтамперную характеристику тринисторов.
10. Роль управляющего электрода, способы управления работой тринистора.
11. Условные обозначения и маркировка динисторов и тринисторов.
12. Начертите схему однополупериодного выпрямителя переменного тока. Какой ток покажет магнитоэлектрический амперметр, а какой – электромагнитный, их соотношение?

13. Начертите мостовую схему трёхфазного выпрямителя. Какой ток и напряжение покажут приборы магнитоэлектрической и электромагнитной системы, включённые в цепь нагрузки, их соотношения?

14. Что называют коэффициентом выпрямления и чему он равен в однополупериодных, двухполупериодных, трёхфазных с выводом нулевой точки и мостовых выпрямителях?

ТЕМА 1.11 ОСНОВЫ ЭЛЕКТРОПРИВОДА

Понятие об электроприводе. Виды электроприводов. Номинальные параметры электрических машин. Классификация электродвигателей по способу защиты от воздействия окружающей среды. Механические характеристики двигателей.

Нагревание и охлаждение электродвигателей. Режимы их работы: длительный, повторно-кратковременный, кратковременный. Продолжительность включения (ПВ) двигателя. Стандартные значения ПВ.

Простейшие нагрузочные диаграммы машин и механизмов, применяемых в строительстве.

Общие условия выбора двигателя по мощности. Метод эквивалентных величин при выборе мощности двигателя для различных режимов работы (длительный и повторно-кратковременный).

Типы электродвигателей, применяемых в строительстве. Их конструктивные и технологические особенности. Способы регулирования частоты вращающихся электродвигателей. Способы управления электроприводами.

Безопасность труда при работе с электродвигателями. [1, с. 225-236]

Вопросы для самоконтроля

1. Что называется номинальным режимом работы электродвигателя?
2. Изобразите механические характеристики электродвигателей.
3. Что такое жёсткость механической характеристики?
4. Назовите режимы работы двигателей и дайте им характеристики.
5. Как осуществляется выбор мощности двигателя для длительно режима с переменной нагрузкой?
6. Как определяется мощность двигателя при повторно кратковременном режиме?
7. Объясните, как осуществляется регулирование частоты вращения двигателя с применением электромагнитной муфты скольжения?
8. В чём смысл торможения противовключением?

ЭКЗАМЕНАЦИОННЫЕ ВОПРОСЫ

Часть 1. Общая электротехника

1. Проводники в электрическом поле.
2. Диэлектрики в электрическом поле.
3. Основные электрические свойства диэлектриков.
4. Электрические конденсаторы.
5. Магнитные свойства веществ.
6. Сила, действующая на проводник с током в магнитном поле.
7. ЭДС в проводнике, движущемся в магнитном поле.
8. Преобразование механической энергии в электрическую.
9. Преобразование электрической энергии в механическую.
10. Магнитоэлектрический измерительный механизм.
11. Электромагнитный измерительный механизм.
12. Электродинамический измерительный механизм.
13. Индукционный измерительный механизм.
14. Измерение тока.
15. Измерение напряжения.
16. Измерение мощности.
17. Измерение энергии.
18. Измерение сопротивлений.
19. Устройство трансформатора.
20. Принцип действия трансформатора.
21. Охлаждение трансформаторов.
22. Коэффициент полезного действия трансформатора.
23. Устройство трёхфазного асинхронного двигателя.
24. Принцип действия трёхфазного асинхронного двигателя.
25. Пуск в ход трёхфазного асинхронного двигателя.
26. Устройство машины постоянного тока.
27. Работа машины постоянного тока в режиме электрического генератора.
28. Работа машины постоянного тока в режиме электрического двигателя.
29. Пуск в ход двигателей постоянного тока.
30. Регулирование частоты вращения двигателей постоянного тока с параллельным возбуждением.
31. Электронно-дырочный переход и его свойства.
32. Биполярные транзисторы.
33. Выпрямители.

Таблица 1

Название элемента	Буквенное обозначение	Графическое обозначение	Название элемента	Буквенное обозначение	Графическое обозначение
Корпус	-		Прибор полупроводниковый а) диод б) стабилитрон	VD	
Заземление	-		Триод полупроводниковый (транзистор)	VT	
Соединение электрическое металлическое	-		Обмотка а) контактора б) теплового реле	а) KM б) KK	
Гальванический элемент или аккумулятор	G GB: батарея		Машина постоянного тока	M	
Предохранитель плавкий	FU		Трёхфазный асинхронный двигатель переменного тока с короткозамкнутым ротором	M	
Резистор переменный	R		Контакт а) замыкающий б) размыкающий	SA SF: автоматический в цепи управления	
Конденсатор а) постоянной емкости б) переменной емкости	C		Кнопка нажимная с самозвратом с контактом а) замыкающим б) размыкающим и замыкающим	SB	
Однофазный трансформатор напряжения с ферромагнитным сердечником	TV		Выключатель силовой а) однополюсный б) трехполюсный	Q QF: автоматический	
Катушка индуктивности	L		Лампа осветительная	EL	
Измерительный прибор а) амперметр б) вольтметр в) ваттметр	а) PA б) PV в) PW				
Лампа осветительная	EL				

ЗАДАНИЯ К КОНТРОЛЬНОЙ РАБОТЕ

Задача 1

Цепь постоянного тока содержит несколько резисторов, соединенных смешанно. Схема цепи приведена на соответствующем рисунке. Номер рисунка, заданные значения сопротивлений резисторов, значения одного из напряжений, тока или мощности приведены в таблице 2.

Задачу решить для случая, когда один из резисторов замкнут накоротко или выключен из схемы. Характер действия с резистором и его номер указаны в таблице 2.

Начертить измененную схему цепи и определить следующие величины, если они не заданы в таблице 2: эквивалентное сопротивление; токи в каждом резисторе; напряжения на каждом резисторе; мощности, выделяемые на каждом резисторе; расход энергии цепью. Проверить правильность решения задачи составлением баланса мощностей.

Указания к выполнению задачи №1:

Решение задачи требует знаний закона Ома для всей цепи и её участков, законов Кирхгофа, методики определения эквивалентного сопротивления цепи при смешанном соединении резисторов, а также умения вычислить мощность электрической цепи и расход ею электрической энергии.

ПРИМЕР:

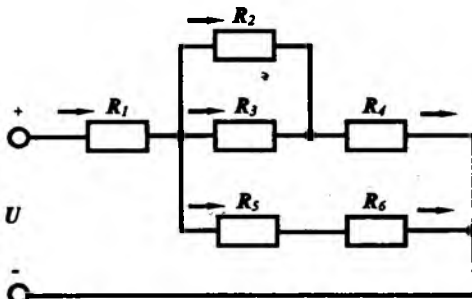


Рисунок 1. Электрическая цепь постоянного тока

Для схемы, приведенной на рисунке 1 определить эквивалентное сопротивление, токи в каждом резисторе, напряжения на каждом резисторе, мощности выделяемые на каждом резисторе, расход энергии цепью за 100 часов, если известно:

$$R_1=5.0\text{ Ом}, R_2=15.0\text{ Ом}, \\ R_3=10.0\text{ Ом}, \\ R_4=4.0\text{ Ом}, R_5=4.0\text{ Ом}, R_6=6.0\text{ Ом}, \\ I_6=4\text{ А}.$$

РЕШЕНИЕ:

После усвоения условия задачи проводим поэтапное решение, предварительно обозначив стрелкой направление тока в каждом резисторе, индекс тока должен соответствовать номеру резистора, по которому он проходит.

1. Определим эквивалентное сопротивление:

т.к. сопротивления R_2 и R_3 соединены параллельно, то $R_{2,3} = \frac{R_2 \cdot R_3}{R_2 + R_3} = \frac{15 \cdot 10}{15 + 10} = 6.0\text{ Ом}$

т.к. $R_{2,3}$ и R_4 соединены последовательно, то $R_{2,4} = R_{2,3} + R_4 = 6 + 4 = 10.0\text{ Ом}$

т.к. R_5 и R_6 соединены последовательно, то $R_{5,6} = R_5 + R_6 = 4 + 6 = 10.0\text{ Ом}$

т.к. $R_{2,4}$ и $R_{5,6}$ соединены параллельно, то $R_{2,4,5,6} = \frac{R_{2,4} \cdot R_{5,6}}{R_{2,4} + R_{5,6}} = \frac{10 \cdot 10}{10 + 10} = 5.0\text{ Ом}$

т.к. R_1 и $R_{2,4,5,6}$ соединены последовательно, то $R_{\text{экв}} = R_1 + R_{2,4,5,6} = 5 + 5 = 10.0\text{ Ом}$

2. Определим токи в отдельных резисторах:

т.к. R_5 и R_6 соединены последовательно, то $I_6 = I_5 = I_{5,6} = 4\text{ А}$

$$U_{5,6} = I_{5,6} \cdot R_{5,6} = 4 \cdot 10 = 40\text{ В},$$

т.к. $R_{2,4}$ и $R_{5,6}$ соединены параллельно, то $U_{5,6} = U_{2,4} = U_{2,4,5,6} = 40\text{ В}$

$$I_{2,4} = \frac{U_{2,4}}{R_{2,4}} = \frac{40}{10} = 4A$$

$$I_{2,6} = \frac{U_{2,6}}{R_{2,6}} = \frac{40}{5} = 8A.$$

т.к. $R_{2,3}$ и R_4 соединены последовательно, то $I_{2,3} = I_4 = I_{2,4} = 4A$,

тогда $U_{2,3} = I_{2,3} * R_{2,3} = 4 * 6 = 24B$,

т.к. сопротивления R_2 и R_3 соединены параллельно, то

$$U_2 = U_3 = U_{2,3} = 24B$$

$$I_2 = \frac{U_2}{R_2} = \frac{24}{15} = 1,6A$$

$$I_3 = \frac{U_3}{R_3} = \frac{24}{10} = 2,4A,$$

т.к. сопротивления R_1 и $R_{2,6}$ соединены последовательно, то $I_1 = I_{2,6} = I_{1,6} = 8A$:

3. Определим напряжения на отдельных участках цепи и напряжения на зажимах всей цепи:

$$U_1 = I_1 * R_1 = 8 * 5 = 40B;$$

$$U_2 = 24B;$$

$$U_3 = 24B;$$

$$U_4 = I_4 * R_4 = 4 * 4 = 16B;$$

$$U_5 = I_5 * R_5 = 4 * 4 = 16B;$$

$$U_6 = I_6 * R_6 = 4 * 6 = 24B;$$

$$U = I * R_{\Sigma} = 8 * 10 = 80B.$$

4. Определим мощности, выделяемые на отдельных резисторах и мощность всей цепи:

$$P_1 = U_1 * I_1 = 40 * 8 = 320Вт;$$

$$P_2 = U_2 * I_2 = 24 * 1,6 = 38,4Вт;$$

$$P_3 = U_3 * I_3 = 24 * 2,4 = 57,6Вт;$$

$$P_4 = U_4 * I_4 = 16 * 4 = 64Вт;$$

$$P_5 = U_5 * I_5 = 16 * 4 = 64Вт;$$

$$P_6 = U_6 * I_6 = 24 * 4 = 96Вт;$$

$$P = U * I = 80 * 8 = 640Вт.$$

5. Определим расход энергии цепью за 100 часов:

$$W = P * t * 10^{-3} = 640 * 100 * 10^{-3} = 64кВт \cdot ч.$$

6. Производим проверку правильности решения составлением баланса мощностей:

$$P = P_1 + P_2 + P_3 + P_4 + P_5 + P_6$$

$$640 = 320 + 38,4 + 57,6 + 64 + 64 + 96$$

$$640 = 640$$

Т.к. баланс мощностей выполняется, то это означает, что задача решена правильно.

Таблица 2

вариант	№ схемы	Задаваемая величина	Действие с резисторами		Номиналы сопротивлений						Время работы цепи, часов
			Замкнут накороток	Выключен из схемы	$R_1, \text{ Ом}$	$R_2, \text{ Ом}$	$R_3, \text{ Ом}$	$R_4, \text{ Ом}$	$R_5, \text{ Ом}$	$R_6, \text{ Ом}$	
1	1	$U = 200 \text{ В}$	R_1	--	5	10	4	15	6	4	48
2	2	$U_2 = 18 \text{ В}$	--	R_1	10	6	4	15	4	10	12
3	3	$U_4 = 6 \text{ В}$	R_1	--	4	10	4	15	6	4	32
4	4	$U_3 = 9 \text{ В}$	R_1	--	4	6	3	8	15	4	90
5	5	$U_6 = 6 \text{ В}$	R_1	--	4	10	12	12	12	6	70
6	6	$U = 30 \text{ В}$	--	R_1	15	6	12	15	8	2	120
7	1	$U_3 = 70 \text{ В}$	R_6	--	5	10	7	6	6	4	60
8	2	$U_5 = 20 \text{ В}$	--	R_2	2	15	8	15	4	10	56
9	3	$U = 14 \text{ В}$	--	R_2	4	15	4	15	6	4	132
10	4	$U_5 = 60 \text{ В}$	R_2	--	4	2	4	8	15	4	85
11	5	$U = 95 \text{ В}$	--	R_2	4	10	12	12	12	6	90
12	6	$U_5 = 48 \text{ В}$	R_2	--	4	6	12	15	8	2	150
13	1	$I_6 = 3 \text{ А}$	R_5	--	5	3	3,6	6	6	4	150
14	2	$U_1 = 15 \text{ В}$	R_3	--	30	15	4	15	4	10	60
15	3	$U_1 = 10 \text{ В}$	R_3	--	4	15	4	15	12	18	128
16	4	$U_2 = 6 \text{ В}$	--	R_3	3	1	3	6	15	4	62
17	5	$U_4 = 12 \text{ В}$	R_3	--	7	12	3	12	12	12	190
18	6	$U_4 = 36 \text{ В}$	--	R_3	15	4	12	15	8	2	160
19	1	$U_2 = 50 \text{ В}$	R_1	--	5	10	4	15	4	6	100
20	2	$U_3 = 6 \text{ В}$	--	R_1	10	6	4	15	4	10	40
21	3	$U_2 = 2 \text{ В}$	R_5	--	4	10	4	15	6	10	50
22	4	$U_6 = 40 \text{ В}$	R_2	--	6	2	3	8	15	4	120
23	5	$U_5 = 36 \text{ В}$	--	R_6	4	10	12	4	12	6	45
24	6	$U_3 = 15 \text{ В}$	R_6	--	15	6	12	15	10	2	100
25	1	$U_1 = 100 \text{ В}$	--	R_2	5	10	4	15	6	4	45
26	2	$I_3 = 1,5 \text{ А}$	--	R_1	10	4	6	15	4	10	70
27	3	$U_3 = 12 \text{ В}$	--	R_4	4	15	3	15	6	1	125
28	4	$U_1 = 4 \text{ В}$	R_4	--	4	11	30	8	15	4	100
29	5	$U_1 = 24 \text{ В}$	--	R_4	4	10	12	12	6	6	260
30	6	$U_1 = 54 \text{ В}$	--	R_4	15	4	15	15	8	2	180
31	1	$U = 135 \text{ В}$	R_3	--	6	12	4	15	6	4	72
32	2	$U = 50 \text{ В}$	--	R_6	10	15	4	15	4	10	90
33	3	$U_6 = 9 \text{ В}$	R_5	--	4	15	4	15	6	10	100
34	4	$U_4 = 12 \text{ В}$	--	R_5	4	2	3	8	15	4	150
35	5	$U_2 = 24 \text{ В}$	--	R_5	4	12	6	12	10	12	65
36	6	$U_6 = 7,5 \text{ В}$	R_5	--	15	6	12	15	8	10	220
37	1	$U_1 = 60 \text{ В}$	--	R_4	4	10	5	15	6	4	36
38	2	$U_5 = 42 \text{ В}$	--	R_1	10	15	5	20	5	10	84
39	3	$U_5 = 18 \text{ В}$	R_6	--	4	15	4	10	15	4	50
40	4	$U = 45 \text{ В}$	R_6	--	4	2	3	8	15	4	160
41	5	$U_3 = 9 \text{ В}$	--	R_6	4	10	9	12	12	6	50
42	6	$U_2 = 30 \text{ В}$	R_6	--	15	6	12	15	10	10	260
43	1	$U_3 = 20 \text{ В}$	R_5	--	5	10	4	15	6	10	120
44	2	$I_5 = 4 \text{ А}$	--	R_6	10	15	4	15	4	10	24
45	3	$I_5 = 0,75 \text{ А}$	R_3	--	4	15	4	15	20	10	140
46	4	$I = 5 \text{ А}$	R_2	--	6	2	3	8	15	4	140
47	5	$I_3 = 8 \text{ А}$	--	R_4	4	10	12	12	12	4	80
48	6	$I = 5 \text{ А}$	--	R_1	15	6	12	15	8	2	110
49	1	$I_5 = 2 \text{ А}$	R_6	--	5	10	5	10	10	10	90
50	2	$U = 10 \text{ В}$	--	R_4	10	15	4	15	10	20	75

Таблица 2 продолжение

вариант	№ схемы	Задаваемая величина	Действие с резисторами		Номиналы сопротивлений						Время работы цепи, часов
			Замкнут накоротко	Выключен из схемы	$R_1, \text{ Ом}$	$R_2, \text{ Ом}$	$R_3, \text{ Ом}$	$R_4, \text{ Ом}$	$R_5, \text{ Ом}$	$R_6, \text{ Ом}$	
51	3	$I_2 = 1 \text{ A}$	R_5	--	4	10	4	15	6	10	74
52	4	$I_5 = 6 \text{ A}$	R_1	--	4	6	3	8	15	4	170
53	5	$I_4 = 0,8 \text{ A}$	R_1	--	4	10	12	12	12	6	500
54	6	$I_4 = 1,6 \text{ A}$	--	R_1	15	6	12	15	8	2	130
55	1	$I_4 = 4 \text{ A}$	R_1	--	5	10	4	15	6	4	96
56	2	$U_6 = 30 \text{ B}$	R_5	--	10	15	4	15	4	3	92
57	3	$I = 3 \text{ A}$	R_1	--	4	15	4	15	6	4	56
58	4	$I_6 = 15 \text{ A}$	R_2	--	4	2	4	8	15	4	250
59	5	$I_3 = 6 \text{ A}$	--	R_2	5	10	12	12	12	6	230
60	6	$I_6 = 4,8 \text{ A}$	R_2	--	4	6	12	15	8	2	145
61	1	$I_3 = 5 \text{ A}$	--	R_2	5	10	4	15	5	5	72
62	2	$U_4 = 30 \text{ B}$	--	R_6	10	15	4	15	4	10	60
63	3	$I_1 = 0,75 \text{ A}$	--	R_4	4	15	4	15	3	3	66
64	4	$I_2 = 3 \text{ A}$	R_6	--	4	2	3	8	15	4	270
65	5	$I_5 = 0,5 \text{ A}$	R_3	--	5	20	12	20	20	20	240
66	6	$I_5 = 3,6 \text{ A}$	--	R_3	15	4	12	15	8	2	175
67	1	$I_1 = 10 \text{ A}$	R_3	--	17	6	4	15	6	4	50
68	2	$I = 5 \text{ A}$	--	R_4	10	15	2	15	2	10	55
69	3	$I_3 = 15 \text{ A}$	R_5	--	4	15	4	15	6	10	110
70	4	$I_5 = 1 \text{ A}$	R_6	--	4	2	3	8	15	4	500
71	5	$I_6 = 0,5 \text{ A}$	--	R_4	4	10	12	12	6	6	175
72	6	$I_3 = 4,32 \text{ A}$	--	R_4	15	4	15	15	8	2	190
73	1	$I_2 = 7 \text{ A}$	--	R_4	5	6	2	15	2	2	72
74	2	$I_6 = 7,5 \text{ A}$	--	R_2	6	15	4	15	4	10	56
75	3	$I_5 = 0,6 \text{ A}$	R_6	--	4	15	4	10	15	4	170
76	4	$I_4 = 3 \text{ A}$	--	R_3	3	1	3	6	15	4	200
77	5	$I_1 = 0,5 \text{ A}$	--	R_5	4	12	6	12	12	12	700
78	6	$I_2 = 3,75 \text{ A}$	R_5	--	15	6	12	15	8	10	185
79	1	$I = 9 \text{ A}$	R_6	--	3	15	2	16	16	4	42
80	2	$I_4 = 2 \text{ A}$	R_3	--	15	15	4	30	4	10	200
81	3	$I = 0,25 \text{ A}$	--	R_2	5	15	4	15	6	4	75
82	4	$I_3 = 0,75 \text{ A}$	R_4	--	6	9	30	8	15	4	180
83	5	$U_6 = 9,6 \text{ B}$	R_1	--	4	10	12	12	12	6	600
84	6	$I_1 = 3 \text{ A}$	R_6	--	15	6	12	15	10	12	400
85	1	$U_4 = 30 \text{ B}$	R_6	--	5	10	4	15	10	4	36
86	2	$I_1 = 0,6 \text{ A}$	--	R_4	10	15	4	15	10	20	45
87	3	$U = 21 \text{ B}$	--	R_2	4	15	4	15	6	4	45
88	4	$I_1 = 1,2 \text{ A}$	--	R_5	4	2	3	8	15	4	300
89	5	$U_5 = 18 \text{ B}$	--	R_2	4	10	12	12	12	6	550
90	6	$U_5 = 96 \text{ B}$	R_2	--	4	6	12	15	8	2	165
91	1	$U_5 = 9 \text{ B}$	R_3	--	5	12	4	15	6	4	110
92	2	$I_2 = 0,6 \text{ A}$	R_5	--	10	15	4	15	4	10	160
93	3	$I_4 = 0,6 \text{ A}$	--	R_2	4	15	4	15	6	4	34
94	4	$U_5 = 75 \text{ B}$	R_6	--	4	2	3	8	15	4	130
95	5	$I = 1,25 \text{ A}$	--	R_6	4	10	12	12	12	6	800
96	6	$I_6 = 5,4 \text{ A}$	--	R_3	15	4	12	15	8	2	200
97	1	$U_6 = 6 \text{ B}$	R_5	--	5	10	7	12	6	4	350
98	2	$I = 1 \text{ A}$	--	R_6	10	15	4	15	4	10	24
99	5	$U_6 = 12 \text{ B}$	R_1	--	4	10	12	12	12	6	260
100	4	$U = 120 \text{ B}$	--	R_3	4	2	3	4	15	4	400

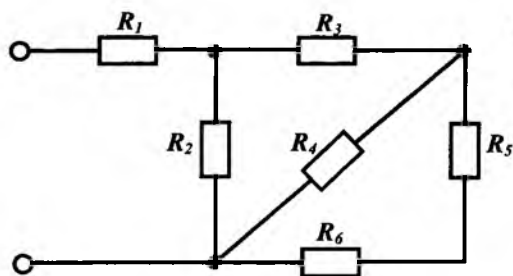


Схема 1

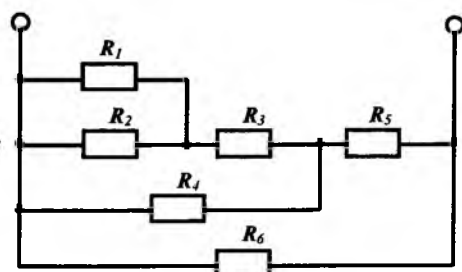


Схема 2

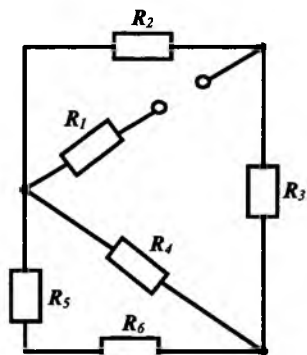


Схема 3

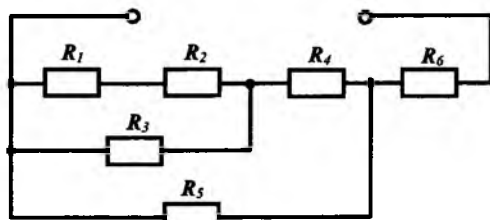


Схема 4

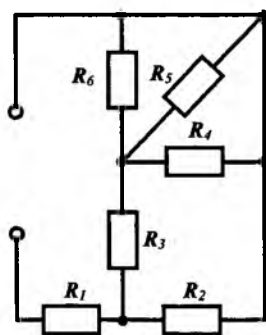


Схема 5

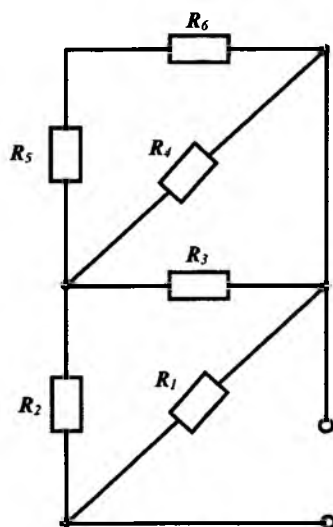


Схема 6

Задача 2

Цепь переменного тока содержит различные элементы (резисторы индуктивности емкости), образующие две параллельные ветви. Заданные значения всех сопротивлений, а также значения одного из напряжений, тока или мощности приведены в таблице 3. Начертить схему цепи и определить следующие величины, если они не заданы в таблице 3: полные сопротивления параллельных ветвей, токи в параллельных ветвях, ток в неразветвленной части цепи, напряжение, приложенное к цепи, коэффициент мощности цепи, активную, реактивную и полную мощность цепи. Начертить в масштабе векторную диаграмму цепи.

Указания к выполнению задачи №2:

При решении данной задачи токи в отдельных параллельных ветвях определяются также как и в неразветвленной цепи переменного тока. Сложность решения заключается в определении тока в неразветвленной части цепи. В цепи постоянного тока его можно определить, используя первый закон Кирхгофа, т.е. ток в неразветвленной части цепи равен сумме токов в параллельных ветвях. В цепи переменного тока первый закон Кирхгофа в обычной форме использовать нельзя, так как векторы токов в параллельных ветвях имеют различное направление.

Для решения этой задачи можно использовать графо-аналитический метод. В этом случае аналитически определяются токи в параллельных ветвях, а общий ток определяется сложением векторов токов в параллельных ветвях.

Однако решение задачи возможно и аналитическим методом. В этом случае токи в параллельных ветвях необходимо разложить на активные и реактивные составляющие, что дает возможность производить обычное сложение активных составляющих токов и их реактивных составляющих. Определив общий активный ток и общий реактивный ток, общий ток определим по формуле: $I = \sqrt{I_a^2 + I_p^2}$.

ПРИМЕР:

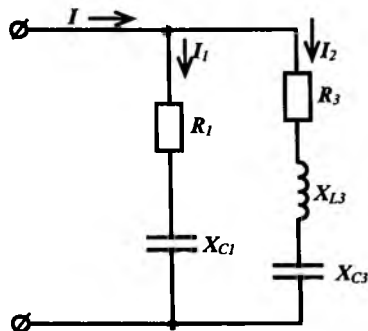


Рисунок 2. Однофазная цепь переменного тока

Для цепи переменного тока (рисунок 2) определить:

$Z_1, Z_2, I_1, I_2, I, \cos\phi, S, P, Q$,

если известно:

$R_1=6 \text{ Ом}$,

$X_{C1}=8 \text{ Ом}$,

$R_3=16 \text{ Ом}$,

$X_{L3}=6 \text{ Ом}$,

$X_{C3}=18 \text{ Ом}$,

$U_{R1}=60 \text{ В}$.

Построить векторную диаграмму цепи.

РЕШЕНИЕ:

1. Определяем полные сопротивления отдельных ветвей.

Для этого используем формулу:

$$Z_n = \sqrt{(R_{n1} + R_{n2} + \dots + R_{nm})^2 + (X_{L1n} + X_{L2n} + \dots + X_{Lmn} - X_{C1n} - X_{C2n} - \dots - X_{Cnn})^2}, \text{ тогда:}$$

$$Z_1 = \sqrt{R_1^2 + (-X_{C1})^2} = \sqrt{6^2 + (-8)^2} = 10 \text{ Ом};$$

$$Z_2 = \sqrt{R_3^2 + (X_{L3} - X_{C3})^2} = \sqrt{16^2 + (6 - 18)^2} = 20 \text{ Ом}$$

2. Определяем токи в параллельных ветвях: $I_1 = \frac{U_{R1}}{R_1} = \frac{60}{6} = 10 \text{ А}$

Тогда общее напряжение цепи определяется:

$$U_1 = I_1 * Z_1 = 10 * 10 = 100 \text{ В}, \text{ но } U_1 = U_2 = U = 100 \text{ В}, \text{ тогда } I_2 = \frac{U_2}{Z_2} = \frac{100}{20} = 5 \text{ А}.$$

3. Определяем углы сдвига токов ветвей относительно общего напряжения:

$$\cos \varphi_a = \frac{R_a}{Z_a};$$

$$\sin \varphi_a = \frac{X_a}{Z_a};$$

$$\cos \varphi_1 = \frac{R_{1a}}{Z_{1a}} = \frac{R_1}{Z_1} = \frac{6}{10} = 0,6;$$

$$\sin \varphi_1 = \frac{X_{1a}}{Z_{1a}} = \frac{-X_{C1}}{Z_1} = \frac{-8}{10} = -0,8;$$

$$\cos \varphi_2 = \frac{R_{2a}}{Z_{2a}} = \frac{R_3}{Z_2} = \frac{16}{20} = 0,8;$$

$$\sin \varphi_2 = \frac{X_{2a}}{Z_{2a}} = \frac{X_{L3} - X_{C3}}{Z_2} = \frac{6 - 18}{20} = -0,6;$$

4. Определяем активные и реактивные составляющие токов параллельных ветвей:

$$I_{a1} = I_1 * \cos \varphi_1 = 10 * 0,6 = 6A;$$

$$I_{p1} = I_1 * \sin \varphi_1 = 10 * (-0,8) = -8A;$$

$$I_{a2} = I_2 * \cos \varphi_2 = 5 * 0,8 = 4A;$$

$$I_{p2} = I_2 * \sin \varphi_2 = 5 * (-0,6) = -3A;$$

$$I_a = I_{a1} + I_{a2} = 6 + 4 = 10A;$$

$$I_p = I_{p1} + I_{p2} = -8 - 3 = -11A.$$

5. Определяем общий ток цепи: $I = \sqrt{I_a^2 + I_p^2} = \sqrt{10^2 + (-11)^2} = 14,9A.$

6. Определяем коэффициент мощности цепи:

$$\cos \varphi = \frac{I_a}{I} = \frac{10}{14,9} = 0,671; \quad \sin \varphi = \frac{I_p}{I} = \frac{-11}{14,9} = -0,738$$

7. Определяем мощности цепи:

$$S = U * I = 100 * 14,9 = 1490B;$$

$$P = S * \cos \varphi = 1490 * 0,671 = 999,8B;$$

$$Q = S * \sin \varphi = 1490 * (-0,738) = 1099,6B;$$

8. Построение векторной диаграммы цепи:

Выбираем масштабы:

- по напряжению: $m_U = 20 B/cm;$
- по току: $m_I = 2 A/cm.$

Длина векторов определяется: $l_I = \frac{I}{m_I}, \quad l_U = \frac{U}{m_U}.$

Построение диаграммы начинается с вектора напряжения U . Под углом 90° в сторону опережения откладываем вектор I_{p1} (т.к. на реактивной ёмкостной нагрузке напряжение отстаёт от тока по фазе на 90°). Вектор I_{a1} откладываем в направлении вектора напряжения (т.к. на активной нагрузке напряжение и ток совпадают по фазе). Вектор I_{p2} откладываем под углом 90° к вектору напряжения в сторону опережения (т.к. во второй ветви реактивная ёмкостная нагрузка преобладает над индуктивной). Вектор I_{a2} откладываем в направлении вектора напряжения. Сумма этих векторов равна току в неразветвлённой части цепи (рисунок 3).

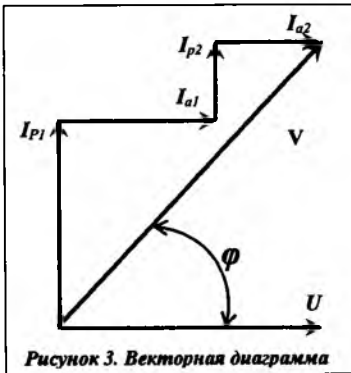


Рисунок 3. Векторная диаграмма

Измерим длину вектора общего тока I : $l_I \approx 7,5cm$. Тогда $I = l_I * m_I = 7,5 * 2 = 15A$, что приблизительно равно общему току, определённому аналитическим способом.

Таким образом, задача решена правильно.

В таблице 3 для каждого варианта даны все сопротивления и один из энергетических параметров. Это может быть напряжение на одном из элементов, как это было в рассматриваемом примере, или ток в одной из ветвей. Кроме этого может быть задана активная или реактивная мощность на одном из элементов или параллельной ветви, а также полная мощность одной из ветвей.

Так, например пусть

$$\text{известно } P_{R1}, \text{ тогда } I_1 = \sqrt{\frac{P_{R1}}{R_1}}, \text{ известно } Q_{L1}, \text{ тогда } I_1 = \sqrt{\frac{Q_{L1}}{X_{L1}}}, \text{ известно } Q_{C1}, \text{ тогда } I_1 = \sqrt{\frac{Q_{C1}}{X_{C1}}},$$

$$\text{известно } P_1, \text{ тогда } I_1 = \sqrt{\frac{P_1}{R_{1a}}}, \text{ известно } Q_1, \text{ тогда } I_1 = \sqrt{\frac{Q_1}{X_{1a}}}, \text{ известно } S_1, \text{ тогда } I_1 = \sqrt{\frac{S_1}{Z_1}}.$$

Таблица 3

вариант	Элементы первой ветви						Элементы второй ветви						Дополнительная величина
	R_1 Ом	R_2 Ом	X_{L1} Ом	X_{L2} Ом	X_{C1} Ом	X_{C2} Ом	R_3 Ом	R_4 Ом	X_{L3} Ом	X_{L4} Ом	X_{C3} Ом	X_{C4} Ом	
01	6	10	12							8	7	$I_2 = 4$ А	
02			8	12			18		44	20		$U_{R3} = 180$ В	
03	12		9	7			24			18		$Q_{C3} = 288$ ВАр	
04	12				10	6		18		6		$U_{C1} = 30$ В	
05			7	8			3	9		16		$P_{R3} = 1296$ Вт	
06	18				10	14	12			9		$U = 120$ В	
07	7	5	9					10		40		$U_{R1} = 140$ В	
08	8		2	4			9	12				$S_2 = 1,5$ кВА	
09	9		12						7,5	5	10	$I_2 = 10$ А	
10	24		18				8	4		9		$Q_{L1} = 1,8$ кВАр	
11	7	9			12		18			24		$U_{R3} = 72$ В	
12	8		6				9	18		6		$U_1 = 150$ В	
13	12		25		9		24			18		$U_{R1} = 180$ В	
14	8	4	16					15		30		$Q_2 = 1,5$ кВАр	
15	6				8		16	8		20		$P_{R3} = 256$ Вт	
16			30		10		20	5	10			$U = 100$ В	
17	8	10	24					30		10		$P_1 = 1,8$ кВт	
18			20	30			12	8		24		$I_1 = 2$ А	
19	6		12		4		20			15		$Q_{C3} = 240$ ВАр	
20			70		20		18	44		20		$P_{R3} = 1,8$ кВт	
21	24		20		38					12	8	$U_{C3} = 36$ В	
22	3	7					12	30		14		$S_2 = 2$ кВА	
23	9	3			16			50		10		$Q_{L3} = 5$ кВАр	
24	12				5	11		18	22			$P_{R1} = 1,2$ кВт	
25	6		9		4,5		12	9				$I_1 = 6$ А	
26	18		11	13						15	10	$U_{R1} = 180$ В	
27	15		12		32			24	26			$U_{L1} = 120$ В	
28			20	15	10		10	15				$U_{R4} = 45$ В	
29	15				20		50	40		40		$P_1 = 240$ Вт	
30	12		29		20			30		12		$U_2 = 90$ В	
31					12	12	15	14		34		$Q_1 = 2,5$ кВАр	
32	23	17					18	40		64		$U_{L3} = 160$ В	
33	8	8	12				6			8		$P_{R3} = 0,6$ кВт	
34	10	5	20					50		75		$I_2 = 5$ А	
35	30		25	15			10	10				$U = 100$ В	
36			16		6		2,5	2		6		$I_1 = 15$ А	
37			7		12	20	18	24				$P_2 = 1,8$ кВт	
38	4		3		6		12	9				$U_{R1} = 48$ В	
39	5	4			12			30		15		$Q_{C3} = 1500$ ВАр	
40	3				4		3	10		6		$U = 50$ В	
41	6		8				12			3	6	$P_2 = 1200$ Вт	
42	20		15		30		30	40				$I_2 = 4$ А	
43	12				16		8	12		15		$U_{C1} = 80$ В	
44	16		18		6			7		22		$I_1 = 6$ А	
45	7	5	9				8			6		$U_{L1} = 180$ В	
46	6		8		3,5			5		8		$U_{R1} = 120$ В	
47	10	14	18				24			32		$Q_{C3} = 288$ ВАр	
48	32		24				30	30	22			$I_1 = 10$ А	
49			30		10		20	15				$U_{L3} = 60$ В	
50	16		12					8	2	30		$Q_2 = 2$ кВАр	

Таблица 3 продолжение

№ вариант	Элементы первой ветви						Элементы второй ветви						Дополнительная величина
	R_1 , Ом	R_2 , Ом	X_{L1} , Ом	X_{L2} , Ом	X_{C1} , Ом	X_{C2} , Ом	R_3 , Ом	R_4 , Ом	X_{L3} , Ом	X_{L4} , Ом	X_{C3} , Ом	X_{C4} , Ом	
51			4	2	16		12		16				$U_{R3} = 120$ В
52	8		6				16		22	10			$U_{R3} = 160$ В
53	12				16		24		30		12		$P_{R1} = 432$ Вт
54			8	12			12				6	10	$I_1 = 5$ А
55	12		9		18		10	10					$U_{R1} = 120$ В
56			30		15		5	7			16		$U = 150$ В
57	9		20		8		18				24		$Q_{C3} = 2,4$ кВАр
58	30		40				10	11			28		$U_{R1} = 210$ В
59	9				4	8	16		12				$P_{R1} = 3,6$ кВт
60	24		28		10		36				27		$Q_{L1} = 4,032$ кВАр
61	4	8	16				6				8		$P_{R2} = 32$ Вт
62	15		25		45		12	38					$U_{R1} = 150$ В
63	20		15				10	6			12		$Q_{C3} = 1,2$ кВАр
64	15		14		34				10		35		$U_{L1} = 70$ В
65					8	7	6	10	12				$I_1 = 4$ А
66	18		44		20				8	12			$U_{R1} = 180$ В
67	24				18		12		9	7			$Q_{C1} = 288$ ВАр
68			18		6		12				10	6	$U_{C3} = 30$ В
69	3	9			16				7	8			$P_{R1} = 1296$ Вт
70	12				9		18				10	14	$U = 60$ В
71			10		40		7	5	9				$U_{R3} = 140$ В
72	9		12				8		2	4			$S_1 = 1,5$ кВА
73			7,5		5	10	9		12				$I_1 = 10$ А
74	8	4			9		24		18				$Q_{L3} = 1,8$ кВАр
75	8				6		7	5	9				$U_{L3} = 180$ В
76			5		8		6		8		3,5		$U_{R3} = 120$ В
77	24				32		10	14	18				$Q_{C1} = 288$ ВАр
78	30		30	22			32		24				$I_2 = 10$ А
79	20		15						30		10		$U_{L1} = 60$ В
80			8	2	30		16		12				$Q_1 = 2$ кВАр
81	15		14		34						12	12	$Q_2 = 2,5$ кВАр
82	18		40		64		23	17					$U_{L1} = 160$ В
83	6				8		8	8	12				$P_{R1} = 0,6$ кВт
84			50		75		10	5	20				$I_1 = 5$ А
85	10	10					30		25	15			$U = 100$ В
86	2,5	2			6				16		6		$I_2 = 15$ А
87	18		24						7		12	20	$P_1 = 1,8$ кВт
88	12		9				4		3		6		$U_{R3} = 48$ В
89			30		15		5	4			12		$Q_{C1} = 1500$ ВАр
90	3		10		6		3				4		$U = 50$ В
91					12	8	24		20		38		$U_{C1} = 36$ В
92	12		30		14		3	7					$S_1 = 2$ кВА
93			50		10		9	3			16		$Q_{L1} = 5$ кВАр
94			18	22			12				5	11	$P_{R3} = 1,2$ кВт
95	12		9				6		9		4,5		$I_1 = 6$ А
96					15	10	18		11	13			$U_{R3} = 180$ В
97			24	26			15		12		32		$U_{L3} = 120$ В
98	10	15							20	15	10		$U_{R2} = 45$ В
99	50		40		40		15				20		$P_1 = 240$ Вт
100			30		12		12		29		20		$U_2 = 90$ В

Задача 3.1

В трёхфазную четырёхпроводную сеть включили звездой разные по характеру сопротивления. Значения сопротивлений и линейное напряжение приведены в таблице 4. Начертить схему-цепи, определить полные сопротивления фаз, фазные токи, активную, реактивную и полную мощность отдельных фаз и всей цепи. Начертить в масштабе векторную диаграмму цепи. По векторной диаграмме определить графически числовое значение тока в нулевом проводе.

Указания к выполнению задачи №3.1:

Для решения данной задачи требуются знания учебного материала по теме «Трёхфазные электрические цепи переменного тока», представление об особенностях соединения источников и потребителей, соотношениях между линейными и фазными напряжениями и токами при соединении в звезду, умения строить векторные диаграммы при симметричной и несимметричной нагрузках, а также в аварийных режимах. Данные для своего варианта взять из таблицы 4.

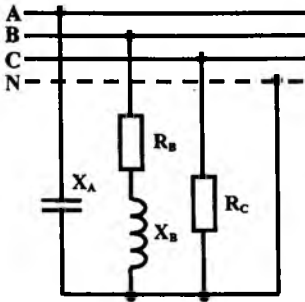


Рисунок 4. Трёхфазная цепь переменного тока при соединении потребителей звездой

ПРИМЕР:

В трёхфазную четырёхпроводную сеть с частотой $f = 50 \text{ Гц}$ включили звездой несимметричную нагрузку:

- в фазу А – конденсатор с ёмкостным сопротивлением $X_C = 10 \text{ Ом}$;
- в фазу В – активное сопротивление $R = 8 \text{ Ом}$ и индуктивное $X_L = 6 \text{ Ом}$;
- в фазу С – активное сопротивление $R = 5 \text{ Ом}$.

Линейное напряжение сети $U_{\text{ном}} = 380 \text{ В}$.

Определить полные сопротивления фаз, фазные напряжения и токи; начертить в масштабе векторную диаграмму цепи и найти графически ток в нулевом проводе; определить активную, реактивную и полную мощности, потребляемые цепью.

РЕШЕНИЕ:

1. Определяем полное сопротивление каждой фазы:

$$Z = \sqrt{R^2 + (X_L - X_C)^2};$$

$$Z_A = \sqrt{(-X_C)^2} = 10.0 \text{ Ом}; \quad Z_B = \sqrt{R^2 + X_L^2} = \sqrt{8^2 + 6^2} = 10.0 \text{ Ом}; \quad Z_C = \sqrt{R^2} = 5.0 \text{ Ом}.$$

2. Определяем фазные напряжения: $U_A = U_B = U_C = \frac{U_{\text{лн}}}{\sqrt{3}} = \frac{380}{1,73} = 220 \text{ В}$

3. Находим фазные токи:

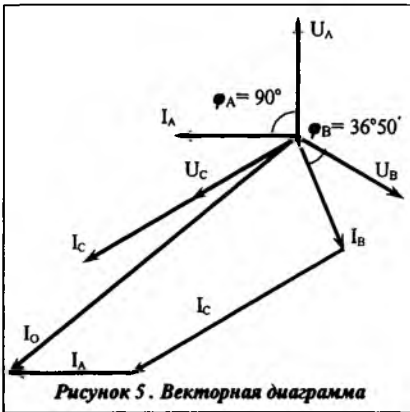
$$I_{\phi} = \frac{U_{\phi}}{Z_{\phi}}, \text{ тогда } I_A = \frac{U_A}{Z_A} = \frac{220}{10} = 22 \text{ А}; \quad I_B = \frac{U_B}{Z_B} = \frac{220}{10} = 22 \text{ А}; \quad I_C = \frac{U_C}{Z_C} = \frac{220}{5} = 44 \text{ А}.$$

4. Построение векторной диаграммы:

Выбор масштаба: по напряжению: $m_U = 100 \text{ В/см}$; по току: $m_I = 10 \text{ А/см}$.

Первыми строят вектора фазных напряжений U_A, U_B, U_C , располагая их под углом 120° друг относительно друга (рисунок 5). Вектор I_A опережает вектор U_A на угол 90° (т.к. на реактивной ёмкостной нагрузке напряжение отстаёт от тока по фазе на 90°); вектор I_B отстаёт от вектора U_B на угол φ_B , который определяется из выражения $\cos \varphi_B = \frac{R_B}{Z_B} = \frac{8}{10} = 0,8$ $\varphi_B = 36^\circ 50'$.

Вектор I_C совпадает с вектором напряжения U_C (т.к. в фазе С содержится чисто активная нагрузка, а вектора напряжения и тока в этом случае имеют одинаковое направление). Ток в нулевом проводе равен геометрической сумме фазных токов.



Измерим длину вектора тока в нулевом проводе I_0 : $I_0 \approx 6,8 \text{ см}$.

Тогда $I_0 = I_1 \cdot m_1 = 6,8 \cdot 10 = 68 \text{ А}$.

5. Определяем мощности, потребляемые целью:

$$P = P_A + P_B + P_C = I_A^2 \cdot R_A + I_B^2 \cdot R_B + I_C^2 \cdot R_C = 22^2 \cdot 0 + 22^2 \cdot 8 + 44^2 \cdot 5 = 13552 \text{ Вт};$$

$$Q = Q_A + Q_B + Q_C = I_A^2 \cdot X_A + I_B^2 \cdot X_B + I_C^2 \cdot X_C = 22^2 \cdot (-10) + 22^2 \cdot 6 + 44^2 \cdot 0 = -1936 \text{ ВАр}.$$

Знак минус показывает, что в цепи преобладает ёмкость.

$$S = \sqrt{P^2 + Q^2} = \sqrt{13552^2 + (-1936)^2} = 13690 \text{ ВА}.$$

Задача 3.2

В трёхфазную трёхпроводную сеть включили треугольником разные по характеру сопротивления. Значения сопротивлений и линейное напряжение приведены в таблице 4. Начертить схему цепи, определить полные сопротивления фаз, фазные токи, активную, реактивную и полную мощность отдельных фаз и всей цепи. Начертить в масштабе векторную диаграмму цепи. По векторной диаграмме определить графически числовые значения линейных токов.

Указания к выполнению задачи №3.2:

Для решения данной задачи требуются знания учебного материала по теме «Трёхфазные электрические цепи переменного тока», представление об особенностях соединения источников и потребителей, соотношениях между линейными и фазными напряжениями и токами при соединении в треугольник, умения строить векторные диаграммы при симметричной и несимметричной нагрузках, а также в аварийных режимах. Данные для своего варианта взять из таблицы 4.

ПРИМЕР:

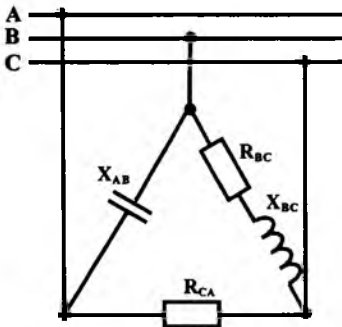


Рисунок 6. Трёхфазная цепь переменного тока при соединении потребителей треугольником

В трёхфазную сеть с частотой $f = 50 \text{ Гц}$ включили треугольником несимметричную нагрузку (рис.6):

- в фазу АВ – конденсатор с ёмкостным сопротивлением $X_C = 10 \text{ Ом}$;

- в фазу ВС – катушку с активным $R = 40 \text{ Ом}$ и индуктивным сопротивлением $X_L = 3 \text{ Ом}$;

- в фазу СА – активное сопротивление $R = 10 \text{ Ом}$.

Линейное напряжение сети $U_{\text{ном}} = 220 \text{ В}$.

РЕШЕНИЕ:

1. Определяем полное сопротивление каждой фазы:

$$Z_{AB} = \sqrt{R^2 + (X_L - X_C)^2} = 10 \text{ Ом};$$

$$Z_{BC} = \sqrt{R^2 + (X_L - X_C)^2} = \sqrt{4^2 + 3^2} = 5 \text{ Ом};$$

$$Z_{CA} = \sqrt{R^2 + (X_L - X_C)^2} = 10 \text{ Ом}$$

2. Определяем фазные токи и углы сдвига фаз:

$$I_\phi = \frac{U_\phi}{Z_\phi},$$

тогда $I_{AB} = \frac{U_{ном}}{Z_{AB}} = \frac{220}{10} = 22 \text{ А}; \quad \varphi_{AB} = -90^\circ;$

$$I_{BC} = \frac{U_{ном}}{Z_{BC}} = \frac{220}{5} = 44 \text{ А}; \quad \cos \varphi_{BC} = \frac{R_{BC}}{Z_{BC}} = \frac{4}{5} = 0,8 \text{ откуда угол } \varphi_{BC} = 36^\circ 50';$$

$$I_{CA} = \frac{U_{ном}}{Z_{CA}} = \frac{220}{10} = 22 \text{ А}; \quad \varphi_{CA} = 0;$$

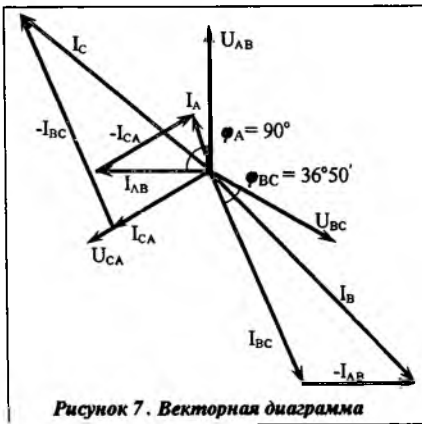


Рисунок 7. Векторная диаграмма

3. Построение векторной диаграммы:

Выбор масштаба по напряжению: $m_U = 80 \text{ В/см};$
по току: $m_I = 10 \text{ А/см}.$

Вектора фазных напряжений U_{AB}, U_{BC}, U_{CA} располагают под углом 120° друг относительно друга (рисунок 7). Под углом $\varphi_{AB} = -90^\circ$ к вектору напряжения U_{AB} откладываем вектор тока I_{AB} (т.к. в фазе чисто емкостная нагрузка); в фазе BC вектор тока I_{BC} должен отставать от вектора напряжения U_{BC} на угол $\varphi_{BC} = 36^\circ 50'$, а в фазе CA вектор тока I_{CA} совпадает с вектором напряжения U_{CA} (т.к. в фазе CA содержится чисто активная нагрузка, а вектора напряжения и тока в этом случае имеют одинаковое направление).

Строим векторы линейных токов на основании уравнений:

$$\vec{I}_A = \vec{I}_{AB} - \vec{I}_{CA} = \vec{I}_{AB} + (-\vec{I}_{CA}), \quad \vec{I}_B = \vec{I}_{BC} + (-\vec{I}_{AB}), \quad \vec{I}_C = \vec{I}_{CA} + (-\vec{I}_{BC})$$

Измерив длины векторов линейных токов, находим их значения, пользуясь масштабом

$$I = l_i * m_I; \quad I_A = 11 \text{ А}; \quad I_B = 57 \text{ А}; \quad I_C = 47 \text{ А}.$$

4. Определяем мощности, потребляемые цепью:

$$P = P_{AB} + P_{BC} + P_{CA} = I_{AB}^2 * R_{AB} + I_{BC}^2 * R_{BC} + I_{CA}^2 * R_{CA} = 22^2 * 0 + 44^2 * 4 + 22^2 * 10 = 12584 \text{ Вт};$$

$$Q = Q_{AB} + Q_{BC} + Q_{CA} = I_{AB}^2 X_{AB} + I_{BC}^2 X_{BC} + I_{CA}^2 X_{CA} = 22^2 * (-10) + 44^2 * 3 + 22^2 * 0 = 968 \text{ ВАр}.$$

$$S = \sqrt{P^2 + Q^2} = \sqrt{12584^2 + 968^2} = 12621 \text{ ВА}.$$

Таблица 4

вариант	Фаза А			Фаза В			Фаза С			U _Л В	вариант	Фаза АВ			Фаза ВС			Фаза СА			U _Л В		
	R _{Ом}	X _L Ом	X _C Ом	R _{Ом}	X _L Ом	X _C Ом	R _{Ом}	X _L Ом	X _C Ом			R _{Ом}	X _L Ом	X _C Ом	R _{Ом}	X _L Ом	X _C Ом	R _{Ом}	X _L Ом	X _C Ом			
1	8	6				11	20			380	2	10				6	8			10			220
3			12,7	25,4			10			220	4			20	20					12	16		380
5	38			8		6			19	660	6	24		32			40	40					660
7	6			8	4	3				380	8	8	6		10					20			220
9	10						12,7	25,4		220	10			5	5							5	380
11			20				38	38		660	12	20			20					16		12	660
13	16		12	12	16				20	380	14			20	16	12				12	12		220
15	10			8	6		12,7			220	16	75		80,5	25	46				196	100		120
17	10					10	8		6	660	18	3	4				10	8	6				660
19	10			3	4				10	380	20			20			44	12	16				220
21	8			6	3	4		11		380	22	10			10					8	6		220
23			125	30	82,7		160	120		220	24	80	140		80	140				25		25	120
25	60		80			55	62,8			220	26	8	6		10					10	10	10	220
27	25	46		196	100		75		80,5	220	28			10			12,7	25,4					380
29	75			69		40,5			40	220	30	25	46		75		80,5	196	100				220
31	50			24			75			220	32	6		8			5,5	6,3					220
33		100				100		100		220	34	30	82,7				125	147	120				380
35			11	8	6		20			380	36	12	28	12			20	16	12	24		220	
37	25,4			10					12,7	380	38		100				100		100				220
39			19	38			8		6	220	40			11	8	6				20			380
41			10	6		8	4	3		220	42	25,4			10							12,7	127
43	6,35					12,7	10			220	44				19	38				8		6	220
45			22			22	12,7			220	46			10	6		8	4	3				220
47		23	43		10	48	38			660	48	6,35					12,7	10					220
49	16		12			20	12	16		380	50			22			22	12,7					220
51	10					10	8	6		380	52		23	43		10	48	38					660
53	8	16	10	10			12,7			220	54	16		12			20	12	16				380
55	8	6		3		4	11			380	56	10					10	8	6				380
57			10	10			4	3		380	58	8	16	10	10					12,7			220
59	100			48			150			220	60	8	6		3		4	11					380
61	30	82,7				125	160	120		380	62			10	10				4	3			380
63	16	12	24	12	28	12		20		380	64	100			48				150				220
65	20	10		2,5	4,6		7,5	8		220	66	30	82,7				125	160	120				380
67	50	92		196	100		75	80,5	220	68	16	12	24	12	28	12						20	380
69	37,5			34,5		20,2		20	220	70	20	10		2,5	4,6		7,5			8			220
71		10	20	10			6		8	220	72	25,4			10							12,7	380
73	8		6	3	4		11			220	74	16	24	12	12	28	12					20	220
75	138		81	150					80	220	76	50	92		196	100			75			80,5	127
77	8	6				10	10			660	78	25,4			10							12,7	127
79	6		8			5,5	6,3			220	80	50			24		15	75					127
81		17,3				17,3		17,3		380	82			23	43		10	48	38				220
83	10			6	8		10			220	84	25	46		196	100			75		80,5		120
85	25	46		75		80,5	196	100		220	86	7,5		8	20	10		2,5	4,6				380
87	30	82,7				125	147	120		380	88	25		25	80	140			80	140			220
89	20	10		2,5	4,6		7,5		8	220	90	10			20							10	380
91	16	24	12	12	28	12		20		220	92		28,3	10			17,3					17,3	220
93	75		80,5	25	46		196	100		380	94	38			23	43				10	48		380
95	50			24			75			220	96	25,4			10	12	24,7					12,7	380
97		31	41	8	6		20			380	98			12,7	25,4					10			220
99	2,5	4,6		7,5		8	20	10		220	100	8	6				11	20					380

Задача 4

Для питания пониженным напряжением частотой 50 Гц установлен трехфазный трансформатор номинальной мощностью $S_{ном}$, к которому подключена нагрузка с полной мощностью S_2 , активной P_2 , при коэффициенте мощности $\cos\varphi_2$ и коэффициенте нагрузки k_H . Номинальные напряжения обмоток $U_{ном1}$ и $U_{ном2}$; номинальные токи в обмотках $I_{ном1}$ и $I_{ном2}$; токи в обмотках при фактической нагрузке I_1 и I_2 , ЭДС в обмотках трансформатора E_1 и E_2 . Коэффициент трансформации равен K . Число витков обмоток w_1 и w_2 . Магнитный поток в магнитопроводе Φ_m . Магнитные потери $P_M=P_h$, электрические потери $P_3=P_k$. КПД трансформатора при номинальной нагрузке $\eta_{ном}$ при действительной нагрузке η , максимальное значение КПД η_m . Используя данные трансформатора, приведенные в таблице 5, и исходные данные, приведенные в таблице 7, определить все неизвестные величины. Ответить на вопрос из таблицы 6 в соответствии со своим вариантом.

Указания к выполнению задачи №4:

Для решения данной задачи необходимо знать устройство, принцип действия и соотношения между электрическими величинами трехфазных трансформаторов. Основными параметрами трансформаторов являются:

1. Номинальная мощность $S_{ном}$. Это полная мощность (в кВА), которую трансформатор, установленный на открытом воздухе, может непрерывно отдавать в течение срока службы (20-25 лет) при номинальном напряжении и при максимальной и среднегодовой температуре окружающего воздуха соответственно 40 и 5°C.

2. Номинальное первичное напряжение $U_{ном1}$ – напряжение, на которое рассчитана первичная обмотка трансформатора.

3. Номинальное вторичное напряжение $U_{ном2}$ – напряжение на выводах вторичной обмотки при холостом ходе и номинальном первичном напряжении. При нагрузке вторичное напряжение снижается из-за потерь в трансформаторе.

4. Номинальные первичный $I_{ном1}$ и вторичный токи $I_{ном2}$. Это токи, вычисленные по номинальной мощности и номинальным напряжениям.

$$\text{Для однофазного трансформатора: } I_{ном1} = \frac{S_{ном}}{U_{ном1}}; \quad I_{ном2} = \frac{S_{ном}}{U_{ном2}};$$

$$\text{для трёхфазного трансформатора: } I_{ном1} = \frac{S_{ном}}{\sqrt{3}U_{ном1}}; \quad I_{ном2} = \frac{S_{ном}}{\sqrt{3}U_{ном2}};$$

Трансформаторы чаще всего работают с нагрузкой меньше номинальной, поэтому вводят понятие коэффициента нагрузки: $k_H = I_1 / I_{ном1} = I_2 / I_{ном2} = S_2 / S_{ном}$

ПРИМЕР:

Для питания предприятия используется трехфазный понижающий трансформатор ТМ-160/10, паспортные данные которого заданы в таблице 1. Максимальное значение магнитного потока $\Phi_m=0,0208$ Вб. Трансформатор работает с коэффициентом нагрузки $k_H=0,8$, при коэффициенте мощности потребителя $\cos\varphi_2 = 0,95$. Частота тока сети $f = 50$ Гц.

Первичные и вторичные обмотки трансформатора соединены в звезду.

Определять: 1) номинальные токи в обмотках и токи при действительной нагрузке; 2) числа витков обмоток; 3) фазные ЭДС в обмотках; 4) коэффициент трансформации; 5) количество витков обмоток; 6) КПД трансформатора при номинальной и действительной нагрузке, максимальное значение КПД.

РЕШЕНИЕ:

1. Выписываем номинальные данные трансформатора из таблицы 1:

$$S_{ном} = 160 \text{ кВА}, \quad U_{ном1} = 10 \text{ кВ}, \quad U_{ном2} = 0,69 \text{ кВ}, \quad P_x = 0,595 \text{ кВт}, \quad P_k = 2,875 \text{ кВт}.$$

2. Номинальные токи в обмотках:

$$I_{ном1} = \frac{S_{ном}}{\sqrt{3}U_{ном1}} = \frac{160 \cdot 10^3}{1,73 \cdot 10 \cdot 10^3} = 9,25 \text{ А}; \quad I_{ном2} = \frac{S_{ном}}{\sqrt{3}U_{ном2}} = \frac{160 \cdot 10^3}{1,73 \cdot 0,69 \cdot 10^3} = 134 \text{ А};$$

3. Токи в обмотках при действительной нагрузке:

$$I_1 = k_H \cdot I_{ном1} = 0,8 \cdot 9,25 = 7,4 \text{ А}; \quad I_2 = k_H \cdot I_{ном2} = 0,8 \cdot 134 = 107 \text{ А}.$$

4. Фазные ЭДС в обмотках при соединении обмоток в звезду:

$$E_1 = \frac{U_{ном1}}{\sqrt{3}} = \frac{10 \cdot 10^3}{1,73} = 5780 \text{ В}; \quad E_2 = \frac{U_{ном2}}{\sqrt{3}} = \frac{0,69 \cdot 10^3}{1,73} = 399 \text{ В};$$

5. Числа витков обмоток находим из формулы $E = 4,44 * f * w * \Phi_m$:

$$\omega_1 = \frac{E_1}{4,44 * \Phi_m * f} = \frac{5780}{4,44 * 0,0208 * 50} = 1252; \quad \omega_2 = \frac{E_2}{4,44 * \Phi_m * f} = \frac{399}{4,44 * 0,0208 * 50} = 86;$$

6. Коэффициент трансформации: $K = \frac{E_1}{E_2} = \frac{5780}{399} = 14,5$.

7. Действительная нагрузка трансформатора и активная мощность, потребляемая от него:

$$S_2 = k_n * S_{ном} = 0,8 * 160 * 10^3 = 128 \text{ кВА}; \quad P_2 = S_2 * \cos \varphi_2 = 128 * 10^3 * 0,95 = 121,6 \text{ кВт};$$

8. КПД трансформатора при номинальной и действительной нагрузке:

$$\eta_{ном} = \frac{S_{ном} \cos \varphi_2 * 100}{S_{ном} \cos \varphi_2 + P_x + P_k} = \frac{160 * 10^3 * 0,95 * 100}{160 * 10^3 * 0,95 + 0,595 * 10^3 + 2,875 * 10^3} = 97,8\%;$$

$$\eta = \frac{k_n S_{ном} \cos \varphi_2 * 100}{k_n S_{ном} \cos \varphi_2 + P_x + k_n^2 P_k} = \frac{0,8 * 160 * 10^3 * 0,95 * 100}{0,8 * 160 * 10^3 * 0,95 + 0,595 * 10^3 + 0,64 * 2,875 * 10^3} = 98\%;$$

9. Максимальное значение КПД:

КПД достигает максимального значения при коэффициенте нагрузки

$$k_{пм} = \sqrt{\frac{P_x}{P_k}} = \sqrt{\frac{0,595}{2,875}} = 0,45;$$

$$\eta_{пм} = \frac{k_{пм} S_{ном} \cos \varphi_2 * 100}{k_{пм} S_{ном} \cos \varphi_2 + P_x + k_{пм}^2 P_k} = \frac{0,45 * 160 * 10^3 * 0,95 * 100}{0,45 * 160 * 10^3 * 0,95 + 0,595 * 10^3 + 0,2025 * 2,875 * 10^3} = 98,3\%;$$

Таблица 5

Тип трансформатора	S _{ном} , кВА	Номинальные напряжения обмоток		Потери мощности	
		U _{ном1} , кВ	U _{ном2} , кВ	P _x , кВт	P _k , кВт
ТМ-25/10	25	10	0,4	0,13	0,645
ТМ-40/10	40	10	0,4	0,185	0,94
ТМ-63/10	63	10	0,4	0,275	1,375
ТМ-100/10	100	10	0,4	0,375	2,12
ТМ-160/10	160	10	0,69	0,595	2,875
ТМ-250/10	250	10	0,69	0,915	4,25
ТМ-400/10	400	10	0,69	1,19	5,7
ТМ-630/10	630	10	0,69	1,75	8,1
ТМ-630/35	630	35	11	2,1	8,05
ТМ-1000/35	1000	35	6,3	2,85	11,6
ТМ-1600/35	1600	35	10,55	3,85	16,5

Таблица 6

№ вопроса	Теоретический вопрос
1	Назначение трансформаторов и области их применения.
2	Устройство однофазного трансформатора. Назначение его отдельных частей.
3	Принцип действия однофазного трансформатора.
4	Как и с какой целью проводится опыт холостого хода трансформатора?
5	Как и с какой целью проводится опыт короткого замыкания трансформатора?
6	Как определяется КПД трансформатора?
7	Устройство трёхфазных трансформаторов. Особенности конструктивного исполнения трансформаторов большой мощности.
8	Устройство автотрансформаторов. Область их применения.
9	Устройство измерительных трансформаторов. Область их применения.
10	Устройство сварочных трансформаторов. Область их применения.

Таблица 7

вопрос	Тип трансформатора	$\Phi_{\text{н}}$ Вб	ω_1	ω_2	S_2 кВА	P_2 кВт	$\cos\varphi_2$	k_H	I_L А	I_2 А
1	ТМ-25/10	0,025	--	--	21,5	--	0,75	--	--	--
2	ТМ-40/10	--	1111	--	35	27	--	--	--	--
3	ТМ-63/10	--	--	55	--	--	0,82	0,8	--	--
4	ТМ-100/10	0,0175	--	--	--	63	0,75	--	--	--
5	ТМ-160/10	--	1222	--	--	105,6	--	0,86	--	--
6	ТМ-250/10	--	--	69	--	--	0,74	--	10,8	--
7	ТМ-400/10	0,026	--	--	--	--	0,81	--	--	259
8	ТМ-630/10	--	1100	--	--	406	--	--	28	--
9	ТМ-630/35	--	--	200	--	404	--	--	--	27,7
10	ТМ-1000/35	0,125	--	--	815	--	0,75	--	--	--
1	ТМ-1600/35	--	1210	--	1330	977	--	--	--	--
2	ТМ-25/10	--	--	45	--	--	0,82	0,8	--	--
3	ТМ-40/10	0,0175	--	--	--	23	0,75	--	--	--
4	ТМ-63/10	--	1330	--	--	45,6	--	0,86	--	--
5	ТМ-100/10	--	--	59	--	--	0,74	--	3,8	--
6	ТМ-160/10	0,026	--	--	--	--	0,81	--	--	109,9
7	ТМ-250/10	--	1443	--	--	196	--	--	12,3	--
8	ТМ-400/10	--	--	92	--	284	--	--	--	277
9	ТМ-630/10	0,025	--	--	555	--	0,75	--	--	--
10	ТМ-630/35	--	895	--	602	577	--	--	--	--
1	ТМ-1000/35	--	--	55	--	--	0,82	0,8	--	--
2	ТМ-1600/35	0,0385	--	--	--	1020	0,75	--	--	--
3	ТМ-25/10	--	1222	--	--	18,6	--	0,86	--	--
4	ТМ-40/10	--	--	48	--	--	0,74	--	1,8	--
5	ТМ-63/10	0,026	--	--	--	--	0,81	--	--	79
6	ТМ-100/10	--	1400	--	--	76	--	--	4,5	--
7	ТМ-160/10	--	--	200	--	104	--	--	--	108
8	ТМ-250/10	0,025	--	--	215	--	0,75	--	--	--
9	ТМ-400/10	--	1111	--	350	277	--	--	--	--
10	ТМ-630/10	--	--	55	--	--	0,82	0,8	--	--
1	ТМ-630/35	0,0475	--	--	--	400	0,75	--	--	--
2	ТМ-1000/35	--	950	--	--	705,6	--	0,86	--	--
3	ТМ-1600/35	--	--	200	--	--	0,74	--	20,8	--
4	ТМ-25/10	0,026	--	--	--	--	0,81	--	--	27,2
5	ТМ-40/10	--	1100	--	--	26	--	--	1,8	--
6	ТМ-63/10	--	--	80	--	40	--	--	--	77,7
7	ТМ-100/10	0,025	--	--	81,5	--	0,69	--	--	--
8	ТМ-160/10	--	1212	--	135	107	--	--	--	--
9	ТМ-250/10	--	--	66	--	--	0,82	0,8	--	--
10	ТМ-400/10	0,0175	--	--	--	270	0,785	--	--	--
1	ТМ-630/10	--	1333	--	--	405,6	--	0,86	--	--
2	ТМ-630/35	--	--	159	--	--	0,74	--	8,8	--
3	ТМ-1000/35	0,05	--	--	--	--	0,61	--	--	65,5
4	ТМ-1600/35	--	1100	--	--	806	--	--	22,4	--
5	ТМ-25/10	--	--	48	--	14	--	--	--	27,7
6	ТМ-40/10	0,035	--	--	31,5	--	0,75	--	--	--
7	ТМ-63/10	--	1111	--	45	27	--	--	--	--
8	ТМ-100/10	--	--	55	--	--	0,82	0,8	--	--
9	ТМ-160/10	0,0195	--	--	--	103	0,75	--	--	--
10	ТМ-250/10	--	1382	--	--	155,6	--	0,86	--	--

Таблица 7 продолжение

вопрос	Тип трансформатора	$\Phi_{вв}$	ω_1	ω_2	S_2 кВА	P_2 кВт	$\cos\varphi_2$	k_H	I_1 А	I_2 А
1	ТМ-400/10	--	999	--	360	277	--	--	--	--
2	ТМ-630/10	--	1200	--	--	405,6	--	0,82	--	--
3	ТМ-630/35	--	--	162	--	--	0,74	--	7,8	--
4	ТМ-1000/35	0,065	--	--	--	--	0,91	--	--	77,5
5	ТМ-1600/35	--	1120	--	--	1106	--	--	24,4	--
6	ТМ-25/10	--	--	52	--	15,9	--	--	--	28,7
7	ТМ-40/10	0,035	--	--	27,9	--	0,79	--	--	--
8	ТМ-63/10	--	1116	--	46,6	37	--	--	--	--
9	ТМ-100/10	--	--	55	--	--	0,81	0,81	--	--
10	ТМ-160/10	0,0185	--	--	--	101	0,75	--	--	--
1	ТМ-250/10	--	1313	--	--	156	--	0,716	--	--
2	ТМ-400/10	--	1000	--	380	277	--	--	--	--
3	ТМ-630/10	--	1200	--	--	388	--	0,72	--	--
4	ТМ-630/35	--	--	112	--	--	0,64	--	7,2	--
5	ТМ-1000/35	0,066	--	--	--	--	0,61	--	--	62,5
6	ТМ-1600/35	--	2002	--	--	1000	--	--	19,5	--
7	ТМ-25/10	--	--	54	--	14,1	--	--	--	24,9
8	ТМ-40/10	0,023	--	--	28,9	--	0,72	--	--	--
9	ТМ-63/10	--	1444	--	48,6	37	--	--	--	--
10	ТМ-100/10	--	--	58	--	--	0,76	0,77	--	--
1	ТМ-160/10	0,018	--	--	--	89	0,7	--	--	--
2	ТМ-250/10	--	1500	--	--	156	--	0,71	--	--
3	ТМ-400/10	--	950	--	311	217	--	--	--	--
4	ТМ-630/10	--	1250	--	--	388	--	0,78	--	--
5	ТМ-630/35	--	--	86	--	--	0,79	--	7,4	--
6	ТМ-1000/35	0,333	--	--	--	--	0,79	--	--	60
7	ТМ-1600/35	--	2010	--	--	850	--	--	19,5	--
8	ТМ-25/10	--	--	40	--	13	--	--	--	26,3
9	ТМ-40/10	0,026	--	--	28	--	0,71	--	--	--
10	ТМ-63/10	--	1000	--	48	33,5	--	--	--	--
1	ТМ-100/10	--	--	45	--	--	0,66	0,66	--	--
2	ТМ-160/10	0,023	--	--	--	89	0,66	--	--	--
3	ТМ-250/10	--	1133	--	--	125	--	0,64	--	--
4	ТМ-400/10	--	1274	--	323	217	--	--	--	--
5	ТМ-630/10	--	1441	--	--	388	--	0,68	--	--
6	ТМ-630/35	--	--	156	--	--	0,7	--	6,88	--
7	ТМ-1000/35	0,184	--	--	--	--	0,81	--	--	70
8	ТМ-1600/35	--	495	--	--	848	--	--	16,5	--
9	ТМ-25/10	--	--	41	--	14,1	--	--	--	29,9
10	ТМ-40/10	0,013	--	--	31,2	--	0,72	--	--	--
1	ТМ-63/10	--	2005	--	42,6	33	--	--	--	--
2	ТМ-100/10	--	--	80	--	--	0,66	0,67	--	--
3	ТМ-160/10	0,017	--	--	--	81	0,7	--	--	--
4	ТМ-250/10	--	1538	--	--	136	--	0,71	--	--
5	ТМ-400/10	--	700	--	281	217	--	--	--	--
6	ТМ-630/10	--	1010	--	--	328	--	0,78	--	--
7	ТМ-630/35	--	--	140	--	--	0,89	--	7,1	--
8	ТМ-1000/35	0,205	--	--	--	--	0,76	--	--	69
9	ТМ-1600/35	--	445	--	--	850	--	--	21,5	--
10	ТМ-25/10	--	--	44	--	16,1	--	--	--	29,9

Задача 5

Трёхфазный асинхронный электродвигатель с короткозамкнутым ротором, работающий в номинальном режиме, потребляет из сети мощность $P_1 = S_1 \cdot \cos \varphi_{ном}$ при номинальном напряжении $U_{ном}$ и номинальном токе $I_{ном}$. Полезная номинальная мощность на валу $P_{ном}$. Суммарные потери в двигателе равны ΣP , его КПД $\eta_{ном}$. Коэффициент мощности двигателя равен $\cos \varphi_{ном}$. Двигатель развивает на валу вращающий момент $M_{ном}$ при частоте вращения ротора $n_{ном2}$. Максимальный и пусковой моменты двигателя соответственно равны M_{max} и M_n ; способность двигателя к перегрузке $M_{max}/M_{ном}$; кратность пускового момента $M_n/M_{ном}$. Синхронная частота вращения магнитного поля статора равна n_1 ; скольжение ротора при номинальной нагрузке $s_{ном}$. Частота тока в сети $f_1 = 50$ Гц, частота тока в роторе f_2 . Используя данные приведенные в таблице 9 определить все неизвестные величины. Ответить на вопрос из таблицы 8 в соответствии со своим вариантом.

Указания к выполнению задачи №5:

Для решения данной задачи необходимо знать устройство и принцип действия двигателя переменного тока данного типа, зависимости между электрическими величинами, характеризующими его работу. Необходимо ознакомиться с рядом возможных частот вращения магнитного потока при стандартной частоте тока 50 Гц: 3000, 1500, 750, 600 об/мин и т.д. Поэтому при частоте вращения ротора двигателя, например, $n_2 = 980$ об/мин поле может иметь только $n_1 = 1000$ об/мин (ближайшая к 980 об/мин из ряда частот вращения) и можно сразу определить скольжение, даже не зная числа пар полюсов: $s = (n_1 - n_2)/n_1 = (1000 - 980)/1000 = 0,02$.

ПРИМЕР:

Трёхфазный асинхронный двигатель с короткозамкнутым ротором имеет номинальные данные: мощность двигателя $P_{ном} = 75$ кВт; напряжение $U_{ном} = 380$ В; КПД $\eta_{ном} = 0,93$; частота вращения ротора $n_2 = 1480$ об/мин; коэффициент мощности $\cos \varphi_{ном} = 0,87$; кратность пускового тока $I_{пуск}/I_{ном} = 7,5$; кратность пускового момента $M_{пуск}/M_{ном} = 1,2$; способность к перегрузке $M_{max}/M_{ном} = 2,2$. Частота тока в сети $f_1 = 50$ Гц.

Определить: 1) потребляемую активную P_1 и полную S_1 мощности; 2) номинальный, пусковой и максимальный моменты; 3) номинальный и пусковой токи; 4) номинальное скольжение; 5) суммарные потери в двигателе; 6) частоту тока в роторе.

РЕШЕНИЕ:

- Активная и полная мощности, потребляемые из сети:

$$P_1 = \frac{P_{ном}}{\eta_{ном}} = \frac{75}{0,93} = 80,6 \text{ кВт}$$

$$S_1 = \frac{P_1}{\cos \varphi_{ном}} = \frac{80,6}{0,87} = 92,6 \text{ кВА}$$

- Номинальный момент, развиваемый двигателем:

$$M_{ном} = \frac{9550 \cdot P_{ном}}{n_2} = \frac{9550 \cdot 75}{1480} = 484 \text{ Н·м}$$

- Пусковой и максимальный моменты:

$$M_{пуск} = 1,2 \cdot M_{ном} = 1,2 \cdot 484 = 581 \text{ Н·м}$$

$$M_{max} = 2,2 \cdot M_{ном} = 2,2 \cdot 484 = 1064,8 \text{ Н·м}$$

- Номинальный и пусковой токи:

$$I_{ном} = \frac{P_{ном}}{\sqrt{3} \cdot U_{ном} \cdot \eta_{ном} \cdot \cos \varphi_{ном}} = \frac{75 \cdot 1000}{1,73 \cdot 380 \cdot 0,93 \cdot 0,87} = 141 \text{ А}$$

$$I_{пуск} = 7,5 \cdot I_{ном} = 7,5 \cdot 141 = 1057,5 \text{ А}$$

- Номинальное скольжение:

$$s_{\text{ном}} = \frac{n_1 - n_2}{n_1} = \frac{1500 - 1480}{1500} = 0,013;$$

6. Суммарные потери в двигателе:

$$\sum p = P_1 - P_{\text{ном}} = 80,6 - 75 = 5,6 \text{ кВт};$$

7. Частота тока в роторе:

$$f_2 = f_1 \cdot s_{\text{ном}} = 50 \cdot 0,013 = 0,65 \text{ Гц};$$

Таблица 8

№ вопроса	Теоретический вопрос
1	Назначение электрических машин переменного тока, их классификация и применение.
2	Устройство трёхфазного асинхронного двигателя с короткозамкнутым ротором, его достоинства и недостатки.
3	Устройство трёхфазного асинхронного двигателя с фазным ротором, его достоинства и недостатки.
4	Принцип действия трёхфазного асинхронного двигателя.
5	Зависимость параметров асинхронного двигателя от скольжения.
6	Вращающий момент трёхфазного асинхронного двигателя и его зависимость от скольжения.
7	Способы пуска в ход трёхфазных асинхронных двигателей.
8	Регулирование частоты вращения трёхфазных асинхронных двигателей.
9	Устройство и принцип действия однофазного двигателя переменного тока.
10	Устройство и принцип действия синхронного двигателя переменного тока.

Таблица 9

вариант	вопросы	$P_{\text{ном}}$, кВт	S_1 , кВА	P_b , кВт	$\cos \phi_{\text{ном}}$	$\eta_{\text{ном}}$	ΣP , кВт	$M_{\text{ном}}$, Нм	$M_{\text{полт}}$, Нм	$M_{\text{нурс}}$, Нм	$M_{\text{полт}}/M_{\text{ном}}$	$M_{\text{нурс}}/M_{\text{ном}}$	n_2 , об/мин	f_2 , Гц	$S_{\text{полт}}$, %	$U_{\text{полт}}$, В	$I_{\text{полт}}$, А
01	1	2,5	-	-	0,8	0,82	-	-	-	-	1,8	1,2	720	-	-	127	-
02	2	-	7,35	-	0,81	-	0,95	49,7	94,4	64,6	-	-	-	-	-	-	19,3
03	3	7,5	-	-	-	-	-	-	-	69,6	2	-	1440	-	-	380	-
04	4	10	-	-	0,83	0,88	-	-	68,7	-	2,1	1,5	-	-	-	-	62,3
05	5	-	18,4	15,4	-	0,81	-	-	-	257	2,2	-	-	-	4	220	-
06	6	-	-	18,1	0,85	-	3,1	149	343	-	-	1,2	-	-	-	-	32,4
07	7	17,5	-	-	-	0,85	-	-	-	-	2,4	1,3	-	2	-	127	109
08	8	-	-	23	0,87	-	3	-	-	91,8	2	-	-	-	2,7	220	-
09	9	-	-	26,2	-	0,86	-	-	656	-	-	1,5	720	-	-	380	45,1
10	10	25	-	28,4	0,89	-	-	249	-	398	2,4	-	-	-	-	220	-
11	1	-	3,81	-	0,8	-	0,55	33,2	59,8	39,8	-	-	-	-	-	-	17,3
12	2	5	7,35	5,95	-	-	-	-	-	64,6	1,9	-	960	-	-	220	-
13	3	7,5	-	-	0,82	0,86	-	-	99,4	-	2	1,4	-	-	-	-	16,1
14	4	-	13,1	11,4	-	0,88	-	-	-	49,1	2,1	-	-	-	2,7	127	-
15	5	-	-	15,4	0,84	-	2,9	166	365	-	-	1,6	-	-	-	-	48,3
16	6	15	-	-	-	0,83	-	-	-	-	2,3	1,2	-	2	-	380	32,4
17	7	-	-	20,6	0,86	-	3,1	-	-	151	2,4	-	-	-	4	127	-
18	8	-	-	23	-	0,87	-	-	131	-	-	1,4	2910	-	-	220	69,3
19	9	22,5	-	26,2	0,88	-	-	298	-	447	2,2	-	-	-	-	-	45,1
20	10	25	-	-	0,89	0,88	-	-	-	-	2,4	1,6	960	-	-	220	-
21	1	2,5	3,81	3,05	-	-	-	-	-	39,8	1,8	-	720	-	-	127	-
22	2	5	-	-	0,81	0,84	-	-	94,4	-	1,9	1,3	-	-	-	-	19,3
23	3	-	10,6	8,72	-	0,86	-	-	-	69,6	2	-	-	-	4	380	-
24	4	-	-	11,4	0,83	-	1,4	32,7	68,7	-	-	1,5	-	-	-	-	62,3
25	5	12,5	-	-	-	0,81	-	-	-	-	2,2	1,6	-	2	-	220	48,3
26	6	-	-	18,1	0,85	-	3,1	-	-	179	2,3	-	-	-	4	380	-
27	7	-	-	20,6	-	0,85	-	-	278	-	-	1,3	1440	-	-	127	109
28	8	20	-	23	0,87	-	-	65,6	-	91,8	2	-	-	-	-	220	-
29	9	-	29,7	-	0,88	-	3,7	298	656	447	-	-	-	-	-	-	45,1
30	10	25	31,9	28,4	-	-	-	-	-	398	2,4	-	960	-	-	220	-
31	1	2,5	-	-	0,8	0,82	-	-	59,8	-	1,8	1,2	-	-	-	-	17,3
32	2	-	7,35	5,95	-	0,84	-	-	-	64,6	1,9	-	-	-	4	220	-
33	3	-	-	8,72	0,82	-	1,22	49,7	99,4	-	-	1,4	-	-	-	-	16,1
34	4	10	-	-	-	0,88	-	-	-	-	2,1	1,5	-	1,35	-	127	62,3
35	5	-	-	15,4	0,84	-	2,9	-	-	257	2,2	-	-	-	4	220	-
36	6	-	-	18,1	-	0,83	-	-	343	-	-	1,2	960	-	-	380	32,4
37	7	17,5	-	20,6	0,86	-	-	116	-	151	2,4	-	-	-	-	-	109
38	8	20	-	-	0,87	0,87	-	-	-	-	2	1,4	2910	-	-	220	-
39	9	22,5	29,7	26,2	-	-	-	-	-	447	2,2	-	720	-	-	380	-
40	10	25	-	-	0,89	0,88	-	-	598	-	2,4	1,6	-	-	-	-	83,7
41	1	-	3,81	3,05	-	0,82	-	-	-	39,8	1,8	-	-	-	4	127	-
42	2	-	-	5,95	0,81	-	0,95	49,7	94,4	-	-	1,3	-	-	-	-	19,3
43	3	7,5	-	-	-	0,86	-	-	-	-	2	1,4	-	2	-	380	16,1
44	4	-	-	11,4	0,83	-	1,4	-	-	49,1	2,1	-	-	-	2,7	127	-
45	5	-	-	15,4	-	0,81	-	-	365	-	-	1,6	720	-	-	220	48,3
46	6	15	-	18,1	0,85	-	-	149	-	179	2,3	-	-	-	-	380	-
47	7	-	23,9	-	0,86	-	3,1	116	278	151	-	-	-	-	-	-	109
48	8	20	26,4	23	-	-	-	-	-	91,8	2	-	2910	-	-	220	-
49	9	22,5	-	-	0,88	0,86	-	-	656	-	2,2	1,5	-	-	-	-	45,1
50	10	-	31,9	28,4	-	0,88	-	-	-	398	2,4	-	-	-	4	220	-

Таблица 9 продолжение

№ п/п	вопросы	$P_{\text{полн}}$, кВт	S_1 , кВА	$P_{\text{н}}$, кВт	$\cos \varphi_{\text{полн}}$	$\eta_{\text{полн}}$	ΣP , кВт	$M_{\text{полн}}$, Нм	$M_{\text{полн}}$, Нм	$M_{\text{полн}}$, Нм	$M_{\text{полн}}$, Нм	$M_{\text{полн}}$, Нм	n_1 , об/мин	f_1 , Гц	$S_{\text{полн}}$, %	$\tau_{\text{полн}}$, В	$I_{\text{полн}}$, А
1	-	-	3,05	0,8	-	0,55	33,2	59,8	-	-	1,2	-	-	-	-	17,3	
2	5	-	-	-	0,84	-	-	-	-	1,9	1,3	-	2	-	220	19,3	
3	-	-	8,72	0,82	-	1,22	-	-	69,6	2	-	-	-	4	380	-	
4	-	-	11,4	-	0,88	-	-	68,7	-	-	1,5	2920	-	-	127	62,3	
5	12,5	-	15,4	0,84	-	-	166	-	257	2,2	-	-	-	-	-	48,3	
6	15	-	-	0,85	0,83	-	-	-	-	2,3	1,2	960	-	-	380	-	
7	17,5	23,9	20,6	-	-	-	-	-	151	2,4	-	1440	-	-	127	-	
8	20	-	-	0,87	0,87	-	-	131	-	2	1,4	-	-	-	-	69,3	
9	-	29,7	26,2	-	0,86	-	-	-	447	2,2	-	-	-	4	380	-	
10	-	-	28,4	0,89	-	3,4	249	598	-	-	1,6	-	-	-	-	83,7	
1	2,5	-	-	-	0,82	-	-	-	-	1,8	1,2	-	2	-	127	17,3	
2	-	-	5,95	0,81	-	0,95	-	-	64,6	1,9	-	-	-	4	220	-	
3	-	-	8,72	-	0,86	-	-	99,4	-	-	1,4	1440	-	-	380	16,1	
4	10	-	11,4	0,83	-	-	32,7	-	49,1	2,1	-	-	-	-	127	-	
5	-	18,4	-	0,84	-	2,9	166	365	257	-	-	-	-	-	-	48,3	
6	15	21,3	18,1	-	-	-	-	-	179	2,3	-	960	-	-	380	-	
7	17,5	-	-	0,86	0,85	-	-	278	-	2,4	1,3	-	-	-	-	109	
8	-	26,4	23	-	0,87	-	-	-	91,8	2	-	-	-	2,7	220	-	
9	-	-	26,2	0,88	-	3,7	298	656	-	-	1,5	-	-	-	-	45,1	
10	25	-	-	-	0,88	-	-	-	-	2,4	1,6	-	2	-	220	83,7	
1	-	-	3,05	0,8	-	0,55	-	-	39,8	1,8	-	-	-	4	127	-	
2	-	-	5,95	-	0,84	-	-	94,4	-	-	1,3	960	-	-	220	19,3	
3	7,5	-	8,72	0,82	-	-	49,7	-	69,6	2	-	-	-	-	-	16,1	
4	10	-	-	0,83	0,88	-	-	-	-	2,1	1,5	2920	-	-	127	-	
5	12,5	18,4	15,4	-	-	-	-	-	257	2,2	-	720	-	-	220	-	
6	15	-	-	0,85	0,83	-	-	343	-	2,3	1,2	-	-	-	-	32,4	
7	-	23,9	20,6	-	0,85	-	-	-	151	2,4	-	-	-	4	127	-	
8	-	-	23	0,87	-	3	65,6	131	-	-	1,4	-	-	-	-	69,3	
9	22,5	-	-	-	0,86	-	-	-	-	2,2	1,5	-	2	-	380	45,1	
10	-	-	28,4	0,89	-	3,4	-	-	398	2,4	-	-	-	4	220	-	
1	-	-	3,05	-	0,82	-	-	59,8	-	-	1,2	720	-	-	127	17,3	
2	5	-	5,95	0,81	-	-	49,7	-	64,6	1,9	-	-	-	-	220	-	
3	-	10,6	-	0,82	-	1,22	49,7	99,4	69,6	-	-	-	-	-	-	16,1	
4	10	13,1	11,4	-	-	-	-	-	49,1	2,1	-	2920	-	-	127	-	
5	12,5	-	-	0,84	0,81	-	-	365	-	2,2	1,6	-	-	-	-	48,3	
6	-	21,3	18,1	-	0,83	-	-	-	179	2,3	-	-	-	4	380	-	
7	-	-	20,6	0,86	-	3,1	116	278	-	-	1,3	-	-	-	-	109	
8	20	-	-	-	0,87	-	-	-	-	2	1,4	-	2	-	220	69,3	
9	-	-	26,2	0,88	-	3,7	-	-	447	2,2	-	-	-	4	380	-	
10	-	-	28,4	-	0,88	-	-	598	-	-	1,6	960	-	-	220	83,7	
1	2,5	-	3,05	0,8	-	-	33,2	-	39,8	1,8	-	-	-	-	-	17,3	
2	5	-	-	0,81	0,84	-	-	-	-	1,9	1,3	960	-	-	220	-	
3	7,5	10,6	8,72	-	-	-	-	-	69,6	2	-	1440	-	-	380	-	
4	10	-	-	0,83	0,88	-	-	68,7	-	2,1	1,5	-	-	-	-	62,3	
5	-	18,4	15,4	-	0,81	-	-	-	257	2,2	-	-	-	4	220	-	
6	-	-	18,1	0,85	-	3,1	149	343	-	-	1,2	-	-	-	-	32,4	
7	17,5	-	-	-	0,85	-	-	-	-	2,4	1,3	-	2	-	127	109	
8	-	-	23	0,87	-	3	-	-	91,8	2	-	-	-	2,7	220	-	
9	-	-	26,2	-	0,86	-	-	656	-	-	1,5	720	-	-	380	45,1	
10	25	-	28,4	0,89	-	-	249	-	398	2,4	-	-	-	-	220	-	

Задача 6

Электродвигатель постоянного тока с параллельным возбуждением, работая в номинальном режиме, отдает полезную мощность на валу $P_{ном}$, развивая при этом номинальный момент $M_{ном}$ при частоте вращения $n_{ном}$. Двигатель потребляет из сети номинальный ток $I_{ном}$ при номинальном напряжении $U_{ном}$. Ток в обмотке якоря I_a , в обмотке возбуждения I_b , сопротивление цепи якоря R_a , цепи возбуждения R_b , противо-ЭДС в обмотке якоря E . Потребляемая из сети мощность равна P_1 . Суммарные потери мощности в двигателе составляют ΣP , потери мощности в обмотках якоря и возбуждения P_a и P_b , его коэффициент полезного действия $\eta_{дв}$. Используя номинальные данные двигателя, приведенные в таблице 11, определить все неизвестные величины а также, потери в обмотках якоря и возбуждения. Ответить на вопрос из таблицы 10 в соответствии со своим вариантом.

Указания к выполнению задачи №6

Данная задача относится к теме «Электрические машины постоянного тока». Для решения задач необходимо знать устройство и принципы действия двигателей постоянного тока, зависимости между электрическими величинами, характеризующими их работу.

Необходимо иметь представление о связи между напряжением на выводах U , ЭДС E и падением напряжения $I_a R_a$ в обмотке якоря: для двигателя $U = E + I_a R_a$.

Полезный номинального момента (на валу):

$$M_{ном} = 9550 \frac{P_{ном}}{n_{ном}}$$

ПРИМЕР:

Электродвигатель постоянного тока с параллельным возбуждением (рисунок 8) рассчитан на номинальную мощность $P_{ном} = 10 \text{ кВт}$ и номинальное напряжение $U_{ном} = 220 \text{ В}$.

Частота вращения якоря $n_{ном} = 3000 \text{ об/мин}$.

Двигатель потребляет из сети ток $I_{ном} = 63 \text{ А}$.

Сопротивление обмотки возбуждения $R_b = 850 \text{ Ом}$, сопротивление обмотки якоря $R_a = 0,3 \text{ Ом}$.

Определить:

- 1) потребляемую из сети мощность P_1 ;
- 2) КПД двигателя $\eta_{дв}$;
- 3) полезный вращающий момент $M_{ном}$;
- 4) ток якоря I_a ;
- 5) противо-ЭДС в обмотке якоря E ;
- 6) суммарные потери в двигателе ΣP ;
- 7) потери в обмотках якоря P_a и возбуждения P_b .

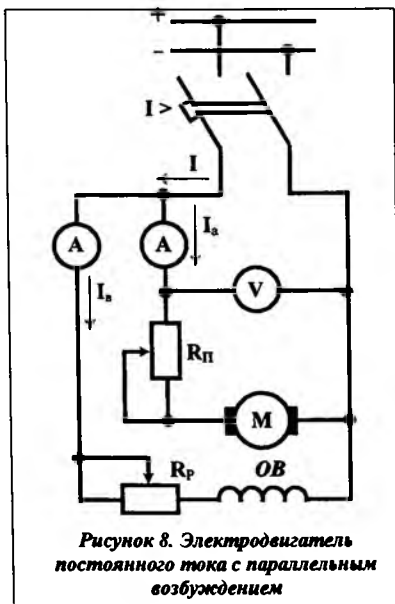


Рисунок 8. Электродвигатель постоянного тока с параллельным возбуждением

РЕШЕНИЕ:

1. Мощность, потребляемая двигателем из сети:

$$P_1 = U_{ном} * I_{ном} = 220 * 63 = 13,9 \text{ кВт}$$

2. КПД двигателя:

$$\eta_{дв} = \frac{P_{вл}}{P_1} = \frac{10}{13,9} = 0,72$$

3. Полезный вращающий момент (на валу):

$$M_{мех} = \frac{9550 * P_{мех}}{n_{мех}} = \frac{9550 * 10}{3000} = 31,9 \text{ Н м};$$

4. Для определения тока якоря предварительно находим ток возбуждения:

$$I_{в} = \frac{U_{ном}}{R_{в}} = \frac{220}{85} = 2,6 \text{ А},$$

тогда ток якоря: $I_A = I_{ном} - I_{в} = 63 - 2,6 = 60,4 \text{ А};$

5. Противо-ЭДС в обмотке якоря:

$$E = U_{ном} - I_a * R_a = 220 - 60,4 * 0,3 = 202 \text{ В}.$$

6. Суммарные потери в двигателе:

$$\sum P = P_1 - P_2 = 13,9 - 10 = 3,9 \text{ кВт},$$

где P_2 – полезная мощность;

7. Потери в обмотках якоря и возбуждения:

$$P_a = I_a^2 * R_a = 60,4^2 * 0,3 = 1190 \text{ Вт}.$$

$$P_{в} = U_{ном} * I_{в} = 220 * 2,6 = 572 \text{ Вт}.$$

Ответить на вопрос из таблицы 10 в соответствии со своим вариантом.

Таблица 10

№ вопроса	Теоретический вопрос
1	Устройство машины постоянного тока.
2	Электродвижущая сила машины постоянного тока.
3	Электромагнитный момент машины постоянного тока.
4	Принцип работы машины постоянного тока в режиме электрического генератора.
5	Принцип работы машины постоянного тока в режиме электрического двигателя.
6	Генераторы постоянного тока с независимым возбуждением их характеристики.
7	Генераторы постоянного тока с параллельным возбуждением их характеристики.
8	Генераторы постоянного тока со смешанным возбуждением их характеристики.
9	Пуск двигателя постоянного тока.
10	Регулирование частоты вращения двигателя с параллельным возбуждением.
11	Двигатели с последовательным и смешанным возбуждением.

Таблица 11

Вариант	вопрос	P_1 , кВт	$R_{ном}$, кВт	$U_{ном}$, В	$I_{ном}$, А	I_a , А	$I_в$, А	$M_{ном}$, Н·м	n , об/мин	E , В	R_a , Ом	R_e , Ом	ΣP , кВт	P_a , Вт	P_e , Вт	$\eta_{дв}$
01	1	6,17	-	-	56	-	-	-	900	-	0,15	50	1,17	-	-	-
02	2	-	-	-	-	39,8	1,8	71,6	-	-	0,25	122	-	-	-	0,82
03	3	12	10	440	-	-	-	-	1200	-	0,54	314	-	-	-	-
04	4	-	12,5	-	135	-	4,2	-	650	100	-	-	2,4	-	-	-
05	5	-	-	220	80	77,4	-	95,5	-	210	-	-	-	-	-	0,85
06	6	-	20	440	-	-	2,2	106	-	420	-	-	-	-	-	0,81
07	7	27,4	-	-	-	121	3,8	-	2200	-	0,1	-	4,9	-	-	-
08	8	30,1	25	-	68,4	-	-	-	1600	416	-	183	-	-	-	-
09	9	-	27,5	220	-	-	-	350	-	-	0,11	40,7	-	-	-	0,84
10	10	-	-	-	80	-	2,6	179	1600	412	-	-	-	-	-	0,85
11	11	-	-	-	-	53,8	2,2	53	-	-	0,15	50	-	-	-	0,81
12	1	9,15	7,5	220	-	-	-	-	1000	-	0,25	122	-	-	-	-
13	2	-	10	-	27,3	-	1,4	-	1200	426	-	-	2	-	-	-
14	3	-	-	110	135	131	-	184	-	100	-	-	-	-	-	0,84
15	4	-	15	220	-	-	2,6	95,5	-	210	-	-	-	-	-	0,85
16	5	24,7	-	-	-	53,9	2,2	-	1800	-	0,37	-	4,7	-	-	-
17	6	27,4	22,5	-	125	-	-	-	2200	208	-	57,9	-	-	-	-
18	7	-	25	440	-	-	-	149	-	-	0,21	183	-	-	-	0,83
19	8	-	-	-	149	-	5,4	350	750	204	-	-	-	-	-	0,84
20	9	35,3	-	-	80	-	-	-	1600	-	0,36	169	5,3	-	-	-
21	10	6,17	5	110	-	-	-	-	900	-	0,15	50	-	-	-	-
22	11	-	7,5	-	41,6	-	1,8	-	1000	210	-	-	1,65	-	-	-
23	1	-	-	440	27,3	25,9	-	79,6	-	426	-	-	-	-	-	0,83
24	2	-	12,5	110	-	-	4,2	184	-	100	-	-	-	-	-	0,84
25	3	17,6	-	-	-	77,4	2,6	-	1500	-	0,13	-	2,6	-	-	-
26	4	24,7	20	-	56,1	-	-	-	1800	420	-	200	-	-	-	-
27	5	-	22,5	220	-	-	-	97,7	-	-	0,1	57,9	-	-	-	0,82
28	6	-	-	-	68,4	-	2,4	149	1600	416	-	-	-	-	-	0,83
29	7	32,7	-	-	149	-	-	-	750	-	0,11	40,7	5,2	-	-	-
30	8	35,3	30	440	-	-	-	-	1600	-	0,36	169	-	-	-	-
31	9	-	5	-	56	-	2,2	-	900	102	-	-	1,17	-	-	-
32	10	-	-	220	41,6	39,8	-	71,6	-	210	-	-	-	-	-	0,82
33	11	-	10	440	-	-	1,4	79,6	-	426	-	-	-	-	-	0,83
34	1	14,9	-	-	-	131	4,2	-	650	-	0,08	-	2,4	-	-	-
35	2	17,6	15	-	80	-	-	-	1500	210	-	84,6	-	-	-	-
36	3	-	20	440	-	-	-	106	-	-	0,37	200	-	-	-	0,81
37	4	-	-	-	125	-	3,8	97,7	2200	208	-	-	-	-	-	0,82
38	5	30,1	-	-	68,4	-	-	-	1600	-	0,21	183	5,1	-	-	-
39	6	32,7	27,5	220	-	-	-	-	750	-	0,11	40,7	-	-	-	-
40	7	-	30	-	80	-	2,6	-	1600	412	-	-	5,3	-	-	-
41	8	-	-	110	56	53,8	-	53	-	102	-	-	-	-	-	0,81
42	9	-	7,5	220	-	-	1,8	71,6	-	210	-	-	-	-	-	0,82
43	10	12	-	-	-	25,9	1,4	-	1200	-	0,54	-	2	-	-	-
44	11	14,9	12,5	-	135	-	-	-	650	100	-	26,2	-	-	-	-
45	1	-	15	220	-	-	-	95,5	-	-	0,13	84,6	-	-	-	0,85
46	2	-	-	-	56,1	-	2,2	106	1800	420	-	-	-	-	-	0,81
47	3	27,4	-	-	125	-	-	-	2200	-	0,1	57,9	4,9	-	-	-
48	4	30,1	25	440	-	-	-	-	1600	-	0,21	183	-	-	-	-
49	5	-	27,5	-	149	-	5,4	-	750	204	-	-	5,2	-	-	-
50	6	-	-	440	80	77,4	-	179	-	412	-	-	-	-	-	0,85

Таблица 11 продолжение

вопрос	P_1 , кВт	$P_{ном}$, кВт	$U_{ном}$, В	$I_{ном}$, А	I_a , А	I_b , А	$M_{ном}$, Н·м	n , об/мин	E , В	R_a , Ом	R_b , Ом	ΣP , кВт	P_a , Вт	P_b , Вт	η
7	-	5	110	-	-	2,2	53	-	102	-	-	-	-	-	0,81
8	9,15	-	-	-	39,8	1,8	-	1000	-	0,25	-	1,65	-	-	-
9	12	10	-	27,3	-	-	-	1200	426	-	314	-	-	-	-
10	-	12,5	110	-	-	-	184	-	-	0,08	26,2	-	-	-	0,84
11	-	-	-	80	-	2,6	95,5	1500	210	-	-	-	-	-	0,85
1	24,7	-	-	56,1	-	-	-	1800	-	0,37	200	4,7	-	-	-
2	27,4	22,5	220	-	-	-	-	2200	-	0,1	57,9	-	-	-	-
3	-	25	-	68,4	-	2,4	-	1600	416	-	-	5,1	-	-	-
4	-	-	220	149	144	-	350	-	204	-	-	-	-	-	0,84
5	-	30	440	-	-	2,6	179	-	412	-	-	-	-	-	0,85
6	6,17	-	-	-	53,8	2,2	-	900	-	0,15	-	1,17	-	-	-
7	9,15	7,5	-	41,6	-	-	-	1000	210	-	122	-	-	-	-
8	-	10	440	-	-	-	79,6	-	-	0,54	314	-	-	-	0,83
9	-	-	-	135	-	4,2	184	650	100	-	-	-	-	-	0,84
10	17,6	-	-	80	-	-	-	1500	-	0,13	84,6	2,6	-	-	-
11	24,7	20	440	-	-	-	-	1800	-	0,37	200	-	-	-	-
1	-	22,5	-	125	-	3,8	-	2200	208	-	-	4,9	-	-	-
2	-	-	440	68,4	66	-	149	-	416	-	-	-	-	-	0,83
3	-	27,5	220	-	-	5,4	350	-	204	-	-	-	-	-	0,84
4	35,3	-	-	-	77,4	2,6	-	1600	-	0,36	-	5,3	-	-	-
5	6,17	5	-	56	-	-	-	900	102	-	50	-	-	-	-
6	-	7,5	220	-	-	-	71,6	-	-	0,25	122	-	-	-	0,82
7	-	-	-	27,3	-	1,4	79,6	1200	426	-	-	-	-	-	0,83
8	14,9	-	-	135	-	-	-	650	-	0,08	26,2	2,4	-	-	-
9	17,6	15	220	-	-	-	-	1500	-	0,13	84,6	-	-	-	-
10	-	20	-	56,1	-	2,2	-	1800	420	-	-	4,7	-	-	-
11	-	-	220	125	121	-	97,7	-	208	-	-	-	-	-	0,82
1	-	25	440	-	-	2,4	149	-	416	-	-	-	-	-	0,83
2	32,7	-	-	-	144	5,4	-	750	-	0,11	-	5,2	-	-	-
3	35,3	30	-	80	-	-	-	1600	412	-	169	-	-	-	-
4	-	5	110	-	-	-	53	-	-	0,15	50	-	-	-	0,81
5	-	-	-	41,6	-	1,8	71,6	1000	210	-	-	-	-	-	0,82
6	12	-	-	27,3	-	-	-	1200	-	0,54	314	2	-	-	-
7	14,9	12,5	110	-	-	-	-	650	-	0,08	26,2	-	-	-	-
8	-	15	-	80	-	2,6	-	1500	210	-	-	2,6	-	-	-
9	-	-	440	56,1	53,9	-	106	-	420	-	-	-	-	-	0,81
10	-	22,5	220	-	-	3,8	97,7	-	208	-	-	-	-	-	0,82
11	30,1	-	-	-	66	2,4	-	1600	-	0,21	-	5,1	-	-	-
1	32,7	27,5	-	149	-	-	-	750	204	-	40,7	-	-	-	-
2	-	30	440	-	-	-	179	-	-	0,36	169	-	-	-	0,85
3	-	-	-	56	-	2,2	53	900	102	-	-	-	-	-	0,81
4	9,15	-	-	41,6	-	-	-	1000	-	0,25	122	1,65	-	-	-
5	12	10	440	-	-	-	-	1200	-	0,54	314	-	-	-	-
6	-	12,5	-	135	-	4,2	-	650	100	-	-	2,4	-	-	-
7	-	-	220	80	77,4	-	95,5	-	210	-	-	-	-	-	0,85
8	-	20	440	-	-	2,2	106	-	420	-	-	-	-	-	0,81
9	27,4	-	-	-	121	3,8	-	2200	-	0,1	-	4,9	-	-	-
10	30,1	25	-	68,4	-	-	-	1600	416	-	183	-	-	-	-
11	-	27,5	220	-	-	-	350	-	-	0,11	40,7	-	-	-	0,84
1	-	-	-	80	-	2,6	179	1600	412	-	-	-	-	-	0,85