МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ РЕСПУБЛИКИ БЕЛАРУСЬ

Государственное учреждение образования

«Солигорский горно-химический колледж»

Электротехника

Методические указания для контрольной работы учащихся

заочной формы обучения по специальности 5-04-0714-11

«Техническая эксплуатация машин и оборудования горнодобывающих производств»

Солигорск 2025

Составитель: Цыбулько С.Н.
Преподаватель высшей категории

Методические указания и контрольные задания рассмотрены и одобрены на заседании цикловой комиссии естественно-математического модуля.

Протокол от « » _____ 2025 г. № _____

Председатель цикловой комиссии С. Н. Цыбулько

Введение

Курс **«Электротехника»** относится к общетехническим предметам и изучается на 1 курсе заочного отделения специальности 5-04-0714-11 «Техническая эксплуатация машин и оборудования горнодобывающих производств».

Цель данного курса - овладение основными теоретическими и практическими навыками в области основных понятий и законов в таких областях, как:

- электрическое поле и электромагнетизм;
- цепи постоянного и переменного тока;
- электрические приборы и измерения электрических и неэлектрических величин;
- трансформаторы и электрические машины постоянного и переменного тока;

Обладая этими знаниями и практическими навыками, специалист будет иметь определенные представления в области применения, эксплуатации электротехнических устройств и изделий.

Общие методические указания

Указания к выполнению контрольной работы

По специальности 5-04-0714-10 «Техническая эксплуатация машин и оборудования горнодобывающих производств» в соответствии с учебным планом предусматривается одна домашняя контрольная работа (далее – контрольная работа).

Варианты контрольных работ для каждого учащегося индивидуальны. Номер варианта определяется двумя последними цифрами шифра.

Контрольная работа выполнена не по своему варианту или 50% неверных решений (ответов) не зачитывается и возвращается учащемуся для повторного её выполнения.

Контрольная работа выполняется в отдельной тетради стандартного формата А-5 (12-18 листов) с типом разлиновки - клетка. Вопрос или условие задачи следует переписывать полностью, задача должна иметь логическую последовательность с пояснениями по каждому действию в констатирующей форме. Графики и векторные диаграммы выполняются в масштабе.

После получения работы с рецензией и замечаниями преподавателя необходимо исправить отмеченные ошибки, повторить недостаточно усвоенный материал.

Если конкретная работа не зачтена, то учащийся выполняет её снова, полностью или с доработкой неправильных ответов (задач) по указанию преподавателя и предъявляет её на повторную рецензию.

К экзамену учащийся допускается после сдачи контрольной работы. Сдача экзамена разрешается только тем учащимся, которые получили зачет по контрольной работе.

ЛИТЕРАТУРА

1. **Бабёр, А.И.,** Электрические измерения: учебное пособие / А.И. Бабёр, Е.Т. Харевская. 2-е изд., стер. Минск: РИПО, 2021. 106 с.
2. **Дайнеко, В. А.,** Электротехника / В. А. Дайнеко. 5-е изд., стер. Минск: РИПО, 2024. с.
3. **Дайнеко, В. А.,** Электротехника: учебное пособие / В. А. Дайнеко. Минск: РИПО, 2019. 287с.
4. **Данилов, И.А.** Общая электротехника с основами электроники / И.А. Данилова, П.М. Иванов. 6-е изд., стер. Москва: Высшая школа, 2005. 752 с.
5. **Шандриков, А.С.** Электротехника с основами электроники: учебное пособие / А.С. Шандриков. 3-е изд., испр. Минск: РИПО, 2020. 318 с.

Примерный тематический план

№ п/п	Наименование разделов и тем	Заочное отделение	
		всего	в том числе лабораторные работы
	Введение **Раздел 1.** Общая электротехника	**2** **64**	 **12**
1.1	Электрическое поле	2	
1.2	Электрические цепи постоянного тока	14	4
1.3	Электромагнетизм	2	
1.4	Однофазные электрические цепи переменного тока	14	4
1.5	Трехфазные электрические цепи	8	2
1.6	Электрические измерения и приборы	4	
1.7	Трансформаторы	4	
1.8	Электрические машины постоянного тока	8	2
1.9	Электрические машины переменного тока	6	
	Всего	**104**	**20**

ПРОГРАММА

Введение

Электрическая энергия, её преимущества и распределение. Основные источники электрической энергии. Преимущество электрической энергии перед другими видами энергии.

Содержание предмета и его связь с другими предметами.

Раздел 1 ОБЩАЯ ЭЛЕКТРОТЕХНИКА

Тема 1.1 Электрическое поле

Основные понятия и определения электрического поля. Энергия электрического поля. Электрическое поле в диэлектрике и полупроводнике. Конденсаторы, способы соединения конденсаторов. Электроизоляционные материалы.

Задачи и вопросы для самопроверки

1. Изобразите картину электрического поля положительного точечного заряда. В каком направлении станет перемещаться пробный отрицательный заряд, помещённый в такое поле?
2. Какое поле называют электростатическим?
3. Что такое напряженность электрического поля? Имеет ли эта величина направление?
4. В каких единицах выражают напряженность электрического поля?
5. Что называют напряжением между двумя точками поля? Приведите связь между напряженностью поля и напряжением.

Тема 1.2 Электрические цепи постоянного тока

Электрический ток в металлах, его направление. Источник питания. Электрическая цепь, ее основные элементы и условные обозначения, применяемые на схемах. Сила и плотность тока, единицы измерения. Электродвижущая сила источника и напряжение на его зажимах. Энергия и мощность цепи, баланс мощности, Закон Ома для участия цепи. Электрическое сопротивление и проводимость Удельное сопротивление и удельная проводимость. Резистор. Зависимость сопротивления от температуры. Закон Ома для всей цепи. Режимы работы цепи: холостой ход, короткое замыкание, переменная нагрузка. Преобразование электрической энергии в теплоту. Закон Джоуля-Ленца. Нагрев проводов, предельно допустимый (номинальный ток в проводе). Выбор сечения провода в зависимости от допускаемого тока.

Последовательное, параллельное и смешанное соединения резисторов. Потеря напряжения в проводах линий электропередачи и допустимые её значения. Первый закон Кирхгофа. Второй закон Кирхгофа, его применение. Понятие о расчете сложных цепей. Работа источника в режиме генератора и потребителя.

Лабораторная работа 1. Соединение резисторов и проверка закона Ома.

Задачи и вопросы для самопроверки

1. Что называют электрическим током? Укажите его направление во внешней и внутренней цепях источника электрической энергии.
2. Приведите примеры источников электрического тока, в которых механическая и химическая энергия превращается в электрическую.
3. Начертите схему электрической цепи, состоящей из источника тока, выключателя, предохранителей и двух ламп, включенных параллельно. Что произойдет в цепи при перегорании одной лампы?
4. Дайте определение электродвижущей силы источника, напряжения на зажимах и внутреннего падения напряжения. Чему равны эти величины, если в цепи проходит ток 2А через внутреннее сопротивление 0,5 ОМ и внешнее сопротивление 9,5 Ом?
   Ответ: 20В, 19В, 1В.
5. Имеются два источника тока с внутренними сопротивлениями 0,1 и 0,5 Ом. Какой из них нужно выбрать, чтобы изменение тока нагрузки в меньшей степени сказывалось на значении напряжения на его зажимах?
6. Напишите закон Ома для цепи и для внешнего и внутреннего участков.
7. Можно ли считать, что напряжение на концах какого-либо резистора одновременно является падением напряжения в нем?
8. Напишите формулы для определения сопротивления проводника через его удельное сопротивление и электрическую проводимость. Как изменится сопротивление проводника при одновременном увеличении его длины в четыре раза, а диаметр в два раза?
   Ответ: останется прежним.
9. Для определения длины медного провода катушки к ней приложили напряжение 4В и измерили ток в цепи, который оказался равным 0,5А, диаметр провода 0,8 м. Найдите длину провода, если проводимость меди 53 м/(Ом·мм^2).
   Ответ: 213м.
10. Напишите формулы для определения мощности, теряемой в резисторе сопротивлением R, через квадрат тока и сопротивление; квадрат напряжения и сопротивления; ток и напряжение.
11. Какое явление называют коротким замыканием цепи? Как защитить цепь от тока короткого замыкания?
12. Напишите формулу для определения потери напряжения в проводах. Чему равен КПД линии электропередачи напряжением 220В, если в ней теряется 10 Вт?
    Ответ: 94,5%.
13. Выведите формулы для определения общего сопротивления цепи в двух случаях:
    а) последовательно включены резисторы R_1, R_2, R_3, R_4;
    б) параллельно включены резисторыR_1, R_2, R_3.

14. Сформулируйте второй закон Кирхгофа для замкнутого контура с несколькими ЭДС. Как в этом случае определяется знак каждой ЭДС?
15. Сложная цепь содержит четыре узла и пять ветвей. Сколько уравнений для её расчета нужно написать на основании первого и второго закона Кирхгофа?
    Ответ: 3 по первому и 2 по второму законам Кирхгофа.

Тема 1.3 Электромагнетизм.

Магнитное поле и его характеристики. Закон полного тока. Взаимодействие магнитного поля и проводника с током. Электромагнитная сила.

Ферромагнитные вещества и их намагничивание. Кривые намагничивания. Явление гистерезиса. Потери энергии при гистерезисе. Магнитомягкие и магнитотвердые материалы.

Электромагнитная индукция. ЭДС, индуктированная в контуре при изменении магнитного потока, сцепленного с контуром (формулировка Максвелла). Правило правой руки. Закон Ленца. Преобразование механической энергии в электрическую. Преобразование электрической энергии в механическую. Самоиндукция. ЭДС самоиндукции. Индуктивность. Энергия магнитного поля. Взаимная индукция. Вихревые токи и их практическое значение.

Задачи и вопросы для самопроверки

1. Что называют магнитным полем? Начертите магнитное поле вокруг прямолинейного проводника с током, кольцевого тока и катушки с током.
2. Приведите определение основных магнитных величин и их единиц измерения: индукции, магнитного потока, напряженности, абсолютной магнитной проницаемости, магнитной проницаемости, намагничивающей силы.
3. От каких величин зависит электромагнитная сила, действующая на проводник с током в магнитном поле? Как определить направление этой силы? В каких единицах выражают все величины входящие в формулу для электромагнитной силы?
4. В чем сущность намагничивания ферромагнитных материалов? Начертите начальную кривую намагничивания стали. Почему ее последний участок называют участком магнитного насыщения?
5. Сформулируйте принцип электромагнитной индукции. Почему при движении проводника в магнитном поле происходит разделения зарядов в проводнике?
6. Как определить значение и направление ЭДС, наведенной в проводнике, движущемся в магнитном поле?

7. Сформулируйте закон Ленца.
8. Выведите формулу для определения ЭДС в контуре при его перемещении в магнитном поле. О чем говорит знак минус в этой формуле?

Тема 1.4 Однофазные электрические цепи переменного тока

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

Фаза, начальная фаза, сдвиг фаз. Действующие значения тока, напряжения и ЭДС. Получение синусоидальной ЭДС. Угловая скорость и угловая частота. Векторная диаграмма.

Особенности цепи переменного тока. Цепь переменного тока с активным сопротивлением, векторная диаграмма, мощность. Цепь переменного тока с индуктивностью, векторная диаграмма, реактивное индуктивное сопротивление, мощность. Цепь переменного тока с электроемкостью, векторная диаграмма, реактивное емкостное сопротивление, мощность.

Общий случай последовательного соединения активно- индуктивного и емкостного сопротивлений. Векторная диаграмма. Разложение напряжений на активные и реактивные составляющие. Резонанс напряжений, условие резонанса напряжений.

Общий случай параллельного соединения активно- индуктивного и емкостного сопротивлений. Векторная диаграмма. Разложение токов на активные и реактивные составляющие. Резонанс токов, условие резонанса токов. Технико-экономическое значение реактивной мощности в электрических системах.

Лабораторная работа 2. Неразветвленная цепь переменного тока с активным сопротивлением и индуктивностью и электроемкостью.

Задачи и вопросы для самопроверки

1. Каким образом можно получить ЭДС синусоидальной формы? От каких факторов зависит ее значение?
2. Что называют мгновенным, амплитудным и действующим значениями переменного тока и напряжения? К каким из этих значений относится стандартные напряжения 127, 220, 380, 660В?
3. Выведите зависимость частоты переменного тока от частоты вращения рамки и числа пар полюсов машины.
4. Определите период и частоту переменного тока, если угловая частота равна 314 рад/с.
   Ответ: 0,02с, 50 Гц.
5. Выражения для мгновенных значений тока и напряжения имеют вид: $i = 14{,}2 \sin(\omega t + \pi/2)$; $u = 169\sin(\omega t + \pi/2)$. Определите показания амперметра и вольтметра; включенных в эту цепь.
   Ответ: 10А, 20В.

6. В цепь переменного тока включен резистор с сопротивлением R = 10 Ом. Ток и напряжение в цепи изменяются по законам
   i = 28,2 sin 314 ωt, u = 311 sin 314 ωt.Определите показания амперметра, вольтметра и ваттметра, включенных в эту цепь.
   Ответ: 20А, 220В, 4400Вт.
7. В цепь предыдущего примера включили катушку с индуктивностью L=0,01Гн. Определите ее индуктивное сопротивление.
   Ответ: 3.14 Ом.
8. Определите сопротивление конденсатора емкостью 5 мкФ при частоте переменного тока 50 Гц. При какой частоте его сопротивление уменьшиться в 10 раз?
   Ответ: 637 Ом, 500 Гц.
9. Что называют коэффициентом мощности?

Тема 1.5 Трехфазные цепи

Сравнение однофазной и трехфазной систем переменных токов. Генерирование трехфазной ЭДС, четырехпроводная трехфазная система при соединении обмоток генератора и потребителей в звезду. Фазовые и линейные напряжения генератора и потребителя. Соотношение между фазовыми и линейными напряжениями. Равномерная и неравномерная нагрузка. Фазовые и линейные токи. Векторная диаграмма напряжений и токов. Нейтральный (нулевой)провод и его значение.

Соединение обмоток генератора в треугольник; недостатки этого соединения. Соединение потребителей в треугольниках. Зависимость между фазовыми и линейными токами. Векторная диаграмма напряжений и токов. Мощности трехфазной цепи при соединении потребителей в звезду и треугольник.

Задачи и вопросы для самопроверки

1. Какими преимуществами обладает трехфазная системе перед однофазной?
2. Как получить трехфазную системуЭДС? Какие стандартные напряжения используются для трехфазных цепей?
3. Приведите примеры между фазными и линейными напряжениями и токами при соединении звездой и треугольником.
4. Каждая фаза обмотки трехфазного электродвигателя рассчитана на напряжение 380 В. Как следует соединить обмотки при линейном напряжении сети 380 и 660 В?
5. Три одинаковых резистора соединили звездой и включили в сеть с линейным напряжением $U_{ном}$. Затем резисторы соединили треугольником и включили в ту же сеть. Во сколько раз изменились линейные токи при таком переключении резисторов?

6. В каких случаях применяют четырехпроводную систему? Какова в ней роль нулевого провода?
7. Почему в нулевом приводе не разрешается устанавливать предохранитель? Является ли аварийным режимом обрыв нулевого провода при соединении трехфазного генератора и потребителя: а) при симметричной нагрузке; б) при несимметричной нагрузке?
8. Как определить активную, реактивную и полную мощности в трехфазной цепи при симметричной и несимметричной нагрузках?

Тема 1.6 Электротехнические измерения и приборы

Классификация измерительных приборов, точность измерений. Измерение напряжений и токов. Устройство и принцип действия магнитоэлектрического и электромагнитного измерительных механизмов. Устройства для расширения пределов измерения напряжений и токов. Измерение сопротивлений. Измерение мощности. Электродинамический и ферродинамический ваттметры. Измерение электрической энергии.

Индукционные счетчики.

Понятие об измерении неэлектрических параметров электротехническими методами.

Лабораторная работа 3. Поверка амперметра и вольтметра магнитоэлектрической системы**.**

Задачи и вопросы для самопроверки

1. Какую погрешность называют абсолютной? Относительной?
2. Истинное значение тока в цепи 5,23 А. Амперметр с верхним пределом измерения 10 А показал ток 5,33 А. Определите абсолютную погрешность измерения.
   Ответ: 0,07 А; 1,34%.
3. Какими значками на шкале обозначают приборы магнитоэлектрической, электромагнитной, электродинамической и индукционной систем?
4. Приборы каких систем – магнитоэлектрической, электромагнитной или электродинамической – можно использовать для измерений в цепях постоянного и переменного тока?
5. Начертите схему включения однофазного счетчика.

Тема 1.7 Трансформаторы

Назначение трансформаторов и их применение. Устройство и принцип действия однофазного трансформатора. Параметры, характеризующие работу трансформатора: ЭДС обмоток, коэффициент трансформации, уравнение ЭДС, уравнение токов, зависимость токов в первичной обмотке от токов во

вторичной обмотке. Режим холостого хода и короткого замыкания, данные получаемые из них. Понятие энергии и КПД трансформаторов.

Понятие о трехфазных трансформаторах, измерительных трансформаторах, автотрансформаторах и сварочных трансформаторах. Их конструктивные особенности.

Задачи и вопросы для самопроверки

1. Пояснить роль трансформатора в энергетической системе при передаче и распределении электрической энергии.
2. Укажите назначение и устройство основных элементов трансформатора.
3. Поясните принцип действия трансформатора. Почему магнитопровод должен быть изготовлен из ферромагнитного материала и, по возможности, иметь минимальный зазор?
4. Почему практический коэффициент трансформации можно определить отношением напряжений обмоток именно при холостом ходе трансформатора?
5. Приведите определение номинальных параметров трансформатора: мощности; напряжений обмоток; токов.
6. Число витков первичной обмотки ω_1 = 100, вторичной ω_2 = 500. Определите напряжение холостого хода вторичной обмотки, если трансформатор включен в сеть с напряжением 220В. Найти вторичный ток, если при подключении ко вторичной обмотке активной нагрузки первый ток I_1= 10 А. потерями в трансформаторе пренебречь.
   Ответ: 1100 В; 2 А.
7. Определите КПД трехфазного трансформатора номинальной мощностью $S_{ном}$= 630 кВ·А, работающего с номинальной нагрузкой при коэффициенте мощности потребителя $\cos\varphi_2$=0.85. Потери в стали $P_{ст}$=1,56 кВт, потери в обмотках $P_{о.ном}$= 12,2 кВт.
   Ответ: 97,5%.

Тема 1.8 Электрические машины переменного тока

Назначение машин переменного тока. Асинхронные электродвигатели. Получение вращающегося магнитного поля в трехфазных асинхронных электродвигателях. Статор электродвигателя и его обмотки. Ротор электродвигателя и его обмотки. Принцип работы трехфазного асинхронного электродвигателя. Частота вращения магнитного поля статора и частота вращения ротора. Скольжение. Вращающий момент асинхронного электродвигателя и зависимость его от скольжения и напряжения на зажимах электродвигателя. Механические характеристики. Пуск в ход трехфазных асинхронных электродвигателей с короткозамкнутым и фазным роторами. Регулирование частоты вращения трехфазных электродвигателей. Однофазный электродвигатель. Потери и КПД асинхронного электродвигателя. Синхронный

генератор. Синхронный электродвигатель. Их устройство, работа, свойства и область применения.

Задачи и вопросы для самопроверки

1. Поясните получение вращающегося магнитного поля в асинхронном электродвигателе.
2. Какое число пар полюсов должен иметь асинхронный двигатель, если частота токов в сети 50 Гц, а частота вращения магнитного поля статора равна 600 об/мин?
   Ответ: 5.
3. Поясните принцип действия асинхронного двигателя. Почему такой двигатель называют асинхронным?
4. Что называют скольжением? Почему увеличение нагрузки на валу вызывает увеличение скольжения?
5. Номинальная частота вращения ротора 735 об/мин. чему равно скольжение ротора, если частота тока в сети 50 Гц?
   Ответ: 2%.
6. На графике зависимости вращающегося момента от скольжения покажите устойчивую и неустойчивую области. Почему их так называют?
7. Что называют способностью двигателя к перегрузке и кратностью пускового момента?
8. Ротор асинхронного двигателя вращается с частотой 1440 об/мин; двигатель потребляет из сети мощность 55 кВт. Определите мощность на валу двигателя и развиваемый момент, если суммарные потери в двигателе равны 5 кВт.
   Ответ: 50кВт; 330 Н·м.
9. В цепь ротора асинхронного двигателя включили реостат. Изменится ли при этом скольжение, если момент на валу остался прежним?
10. Напряжение сети понизилось на 10%. Как изменился при этом вращающий момент асинхронного двигателя?
    Ответ: уменьшится на 19%.
11. Какие способы регулирования частоты вращения асинхронного двигателя вам известны?
12. Поясните устройство и принцип действия синхронной машины. Может ли ротор такой машины вращаться асинхронно?
13. Определите число пар полюсов синхронного генератора, если частота вращения ротора равна 500 об/мин, а частота тока в сети 50Гц.
    Ответ: 6.
14. Как производится пуск синхронных двигателей?

Тема 1.9 Электрические машины постоянного тока

Общее устройство электрических машин постоянного тока, основные элементы конструкции и их назначение. Обратимость машин. Принцип работы машины постоянного тока.

Генератор постоянного тока с независимым возбуждением, его схема и характеристика (холостого хода и внешняя). Самовозбуждение генераторов постоянного тока. Генератор постоянного тока с параллельным возбуждением, его схема и внешняя характеристика. Генератор постоянного тока со смешанным возбуждением при согласном и встречном соединениях обмотки возбуждения; внешние характеристики, потери, КПД.

Электродвигатель постоянного тока с параллельным возбуждением; его схема. Пуск двигателя, роль пускового и регулировочного реостатов. Вращающий момент и 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. Потери и КПД двигателей постоянного тока.

Задачи и вопросы для самопроверки

1. Каково назначение основных частей машины постоянного тока: станины, полюсов, якоря, коллектора, обмоток?
2. Выведите формулу для определения ЭДС генератора. Каким образом можно регулировать значение ЭДС?
3. Поясните принцип самовозбуждения машины постоянного тока. В каких случаях машина может не возбудится?
4. Начертите схемы генераторов постоянного тока с независимым, параллельным и смешанным возбуждением и поясните назначение каждого элемента схемы.
5. Какой вид имеют характеристики холостого хода и внешняя у генератора с независимым возбуждением?
6. Поясните принцип действия электродвигателя постоянного тока. Каково назначение коллектора у двигателя ?
7. Какова роль противо- ЭДС, наводимой в якоре электродвигателя? Почему в момент пуска велик пусковой ток?
8. Начертите схему электродвигателя с параллельным возбуждением. Каково назначение обоих реостатов?
9. Начертите зависимость частоты вращения и момента двигателя с последовательным возбуждением от полезной нагрузки на валу. Почему двигатель с такими характеристиками широко применяется в тяговых установках?
10. Перечислите способы регулирования частоты вращения двигателя с параллельным возбуждением.
11. Какие виды потерь имеют место в машине постоянного тока?

Методические указания к выполнению контрольной работы

В контрольную работу входит раздел «Электротехника», предусматривающий 5 задач. При решении задачи схемы электрической цепи должны выполнятся в соответствии с ГОСТом. Диаграммы, графики необходимо выполнять под линейку в соответствующем масштабе.

Методические указания к решению задачи 1

Решение этой задачи требует знание закона Ома для всей цепи и участков, первого и второго законов Кирхгофа, методики определения эквивалентного сопротивления цепи при смешенном соединении резисторов. Перед решением задачи рассмотрим типовой пример 1.

Пример 1. Для схемы, приведенной на рис. 1а, определить эквивалентной сопротивление цепи R_{AB}, токи в каждом резисторе и напряжении U_{AB}, приложенное к цепи. Заданные сопротивления резисторов и ток I_4 в резисторе R_4. Как изменяются токи в резисторах при: а) замыкании рубильникаP_1, б) расплавлении вставки предохранителя $П_{р4}$? В обоих случаях напряжениеU_{AB} остается неизменным.

Сопротивление резисторов R_2, R_3, соединенных параллельно.

$$R_{23}=\frac{R_2,R_3}{R_2,R_3}=\frac{15\cdot10}{15+10}=6 \text{ Ом}$$

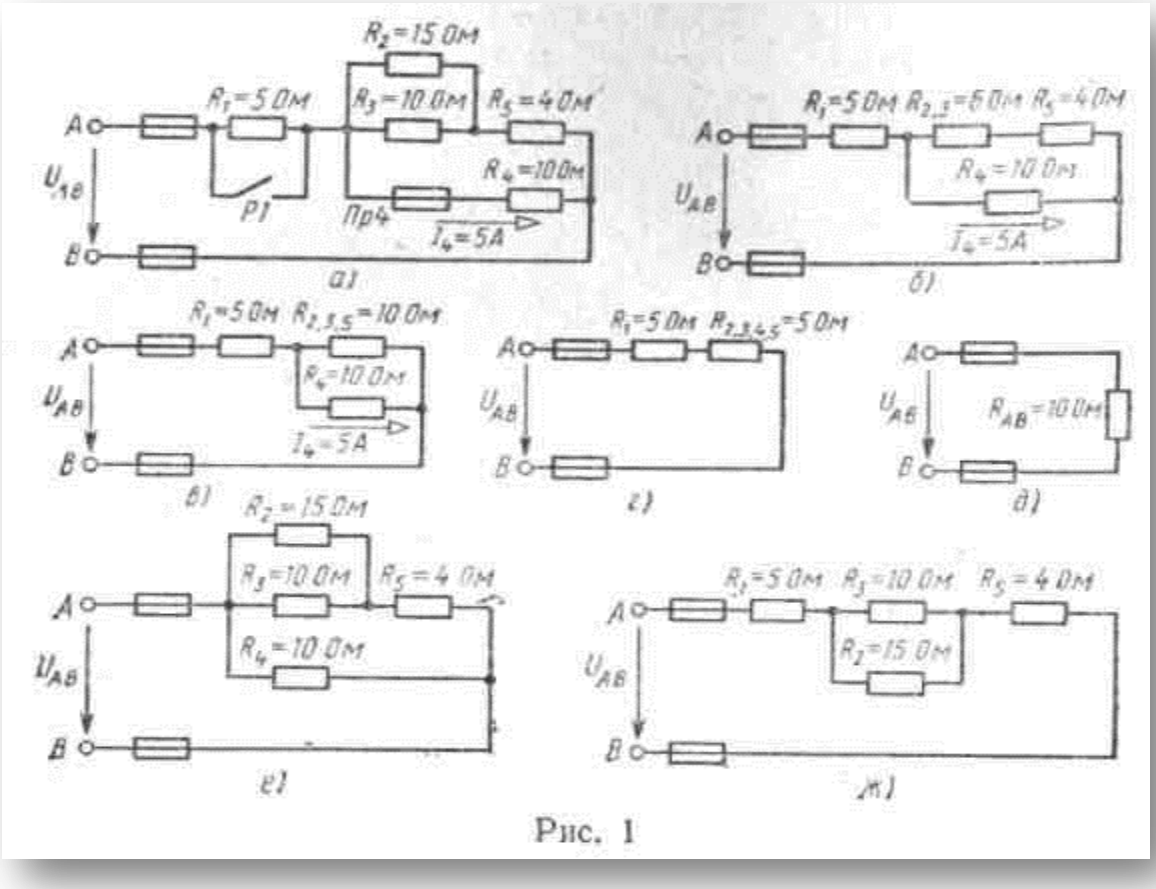


Рис. 1

Схема цепи принимает вид, показанный на рис 1б.

Резисторы $R_{2,3}$ и R_5 соединены последовательно, их общее сопротивление

$R_{2,3,5}= R_{2,3}+ R_5 = 6+4 =10$ Ом

Схема цепи примет вид рис. 1в

Резисторы $R_{2,3,5}$ и R_4 соединены параллельно, их общее сопротивление

$R_{2,3,4,5}= \frac{10\cdot10}{10+10} = 5$ Ом

Схема цепи примет вид, на рис. 1г.

Эквивалентное сопротивление все цепи:

$R_{AB} = R_1 + R_{2,3,4,5} =5+5 = 10$ Ом (рис. 1д)

Зная силу тока I_4, находим напряжение на резисторе R_4:

$U_4 = I_4 R_4 =5\cdot10 =50$ В

Это же напряжение приложено к резисторам $R_{2,3}$ и R_5 (рис. 1б).

Поэтому ток в резисторе R_5: $I_5 = \frac{U_4}{R_{2,3}+R_5} = \frac{50}{6+4} = 5$А

Находим падение напряжения на резисторе R_5:

$U_5 = I_5 R_5 = 5\cdot4 = 20$ В

Поэтому напряжение на резисторе $R_{2,3}$

$U_{2,3} = U_4-U_5 = 50-20 = 30$ В

Определяют токи резисторахR_2 и R_3:

$I_2 = \frac{U_{2,3}}{R_2} = \frac{30}{15} = 2$А; $I_3 = \frac{U_{2,3}}{R_3} = \frac{30}{10} = 3$А.

Применяя первый закон Кирхгофа, находим ток в резисторе R_1:

$I_1 = I_2+I_3+I_4 =2+3+5 =10$ А

Вычисляем падение напряжения на резисторе R_1:

$U_1 = I_1R_1 = 10\cdot5 = 50$ В

Находим напряжение U_{AB}, приложенное ко всей цепи:

$U_{AB} = I_1R_{AB} = 10\cdot10 = 100$ В или$U_{AB} = U_1 + U_4 = 50+50 =100$ В

При включении рубильника P_1 сопротивление R_1 замыкается накоротко и схема цепи имеет вид, показанный на рис. 1е. Эквивалентное сопротивление цепи в этом случае

$R_{AB} = R_{2,3,4,5}= 5$ Ом

Поскольку напряжение U_{AB} остается равным 100 В, можно найти токи в резисторах R_4 и R_5:

$I_4 = \frac{U_{AB}}{R_4} = \frac{100}{10} = 10A$; $I_5 = \frac{U_{AB}}{R_{2?}+R_5} = \frac{100}{6+4} = 10$ А

Определим падение напряжения на резисторе R_5

$U_5 = I_5R_5 = 10 \cdot 4 = 40$ В

Поэтому напряжение на резисторах $R_2.R_3$

$U_{2,3} = U_{AB} - U_5 = 100-40 = 60$ В

Теперь можно найти токи в резисторах R_2 иR_3:

$I_2 = \frac{U_{2,3}}{R_2} = \frac{60}{15} = 4A$; $I3 = \frac{U_{2,3}}{R} = \frac{60}{10} = 6A$

Проверим правильность вычисления токов, используя первый закон Кирхгофа: $I = I_2 + I_3 + I_4 = 4 + 6 + 10 = 20$ А и $I = \frac{U_{AB}}{R_{2,3,4,5}} = \frac{100}{5} = 20$ А

Таким образом, задача решена верно.

При расправлении предохранителя $Пр_4$ резистор R_4 выключается и схема принимает вид, показанный на рисунке 1ж.

Вычисляем эквивалентное сопротивление схемы:

$$R_{AB} = R_1 + \frac{R_2R_3}{R_2+R_3} + R_5 = 5 + \frac{15 \cdot 10}{15+10} + 4 = 15 \text{ Ом}$$

Поскольку напряжение U_{AB} остается неизменным, находим токи I_1 и I_5:

$I_1 = I_5 = \frac{U_{AB}}{R_{AB}} = \frac{100}{15} = 6,67A$

Напряжение на резисторах R_2,R_3

$U_{2,3} = I_1R_{2,3} = 6,67 \cdot 6 = 40$В

Находим токи I_1, I_3:

$I_2 = \frac{U_{2,3}}{R_2} = \frac{40}{15} = 2,67A$; $I_3 = \frac{U_{2,3}}{R_3} = \frac{40}{10} = 4A$

Сумма этих токов равна току I_1:

$I_1 = I_2 + I_3 = 2,67 + 4 = 6,67A$

Методические указания к решению задачи 2,3

Эти задачи относятся к неразветвленным и разветвленным цепям переменного тока. Перед их решением изучите материалы тем 1.4, 1.5, ознакомьтесь с методикой построения векторных диаграмм и рассмотрите типовые примеры 2,3.

Пример 2. Активное сопротивление катушки $R_к$= 6 Ом, индуктивное X_L= 10Ом. Последовательно с катушкой включено активное сопротивление X_C= 4 Ом (рис.2а) к цепи приложено напряжение U = 50 В (действующее значение).

Определить :

1) полное сопротивление цепи;
2) ток;
3) коэффициент мощности;
4) активную, реактивную и полную мощности;
5) напряжения на каждом сопротивлении;

Начертите в масштабе векторную диаграмму цепи.

Решение:

Полное сопротивление цепи:

$$z = \sqrt{(R_к + R)^2 + (X_L - X_c)^2} = \sqrt{(6+2)^2 + (10-4)^2} = 10 \text{ Ом}$$

Ток в цепи:

$$I = \frac{U}{z} = \frac{50}{10} = 5A$$

Угол сдвига фаз:

$$\sin\varphi = \frac{x_{L-X_C}}{Z} = \frac{10-4}{10} = 0{,}6;$$

по таблицам Брадиса (или по калькулятору) находим φ = 36°56'. Угол сдвига фаз φ находим по синусу во избежание потери знака угла (косинус является четной функцией).

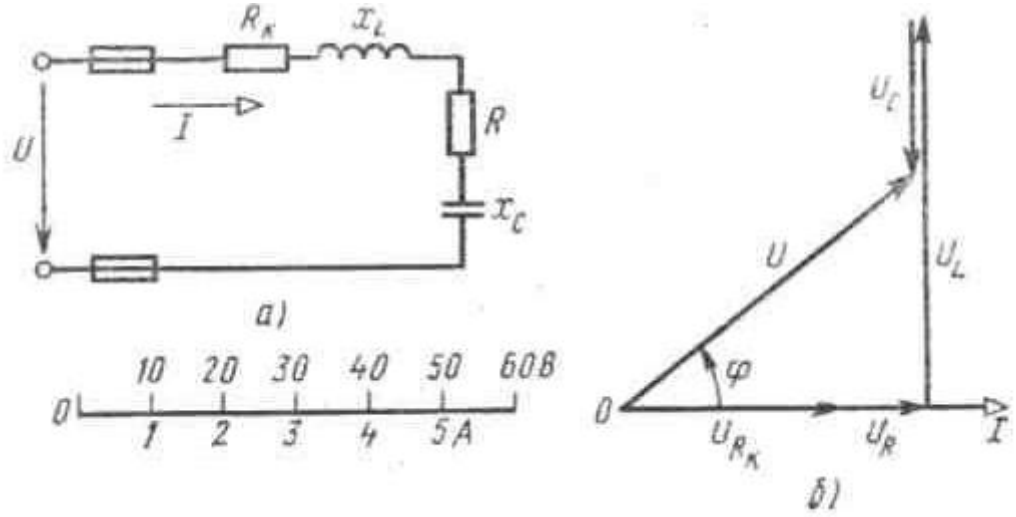


Рис. 2

Активная мощность всей цепи:

$P = I^2(R_k + R) = 5^2(6+2) = 200$ Вт
или

$P = UI\cos\varphi = 50 \cdot 5 \cdot 0{,}8 = 200$ Вт

Гдесоsφ = $\frac{R_k + R}{Z} = \frac{6+2}{10} = 0.8$

Реактивная мощность всей цепи:

$Q = I^2 (X_L - X_C) = 5^2(10-4) = 150$ ВАр

или
$Q = UI \sin\varphi = 50 \cdot 5 \cdot 0{,}6 = 150$ Вар

Полная мощность цепи:

$S = \sqrt{P^2 + Q^2} = \sqrt{200^2 + 150^2} = 250$ В·А

или
$S = UI = 50 \cdot 5 = 250$ В·А

падение напряжения на сопротивлениях цепи:

$U_{Rk} = I\,U_k = 5 \cdot 6 = 30$ В; $U_L = IX_L = 5 \cdot 10 = 50$ В; $U_R = IR = 5 \cdot 2 = 10$ В;
$U_c = I\,X_c = 5 \cdot 4 = 20$ В

Построение векторной диаграммы (рис. 2б) начинаем с вектора тока, который откладываем по горизонтали в масштабе $\frac{5А}{1А/см} = 5$ см.

Для построения векторной диаграммы цепи принимаем масштаб $m_ц$= 10 В/см.

Вдоль вектора тока откладываем векторы падений напряжения на активных сопротивлениях U_{Rk} и U_R:

$$\frac{30\text{В}}{10\text{В/см}} = 3 \text{ см}; \quad \frac{10\text{В}}{10\text{В/см}} = 1 \text{ см}.$$

Из конца вектора U_R откладываем в сторону опережения вектора тока на 90° вектор падения напряжения U_L на индуктивном сопротивлении длиной

$\frac{50\text{В}}{\frac{10\text{В}}{\text{см}}} = 5\text{см}$. Из конца вектора U_L откладываем в сторону отставания от вектора тока на 90° вектор падения напряжения на конденсаторе U_C длинной $\frac{20\text{В}}{\frac{10\text{В}}{\text{см}}} = 2\text{см}$. геометрическая сумма векторов U_{Rk}, U_R, U_L, U_C равна полному напряжению U, приложенному к цепи.

Пример 3. Катушка с активным сопротивлением R_1 = 6 Ом и индуктивным X_L = 8 Ом соединена параллельно с конденсатором, емкостное сопротивление которого X_{C2} = 10 Ом (рис. 3а). Определитель: 1) токи в ветвях и в неразветвленной части цепи; 2) активные и реактивные мощности ветвей и всей цепи; 3) полную мощность цепи; 4) углы сдвига фаз между током и напряжением в каждой ветви и по всей цепи.

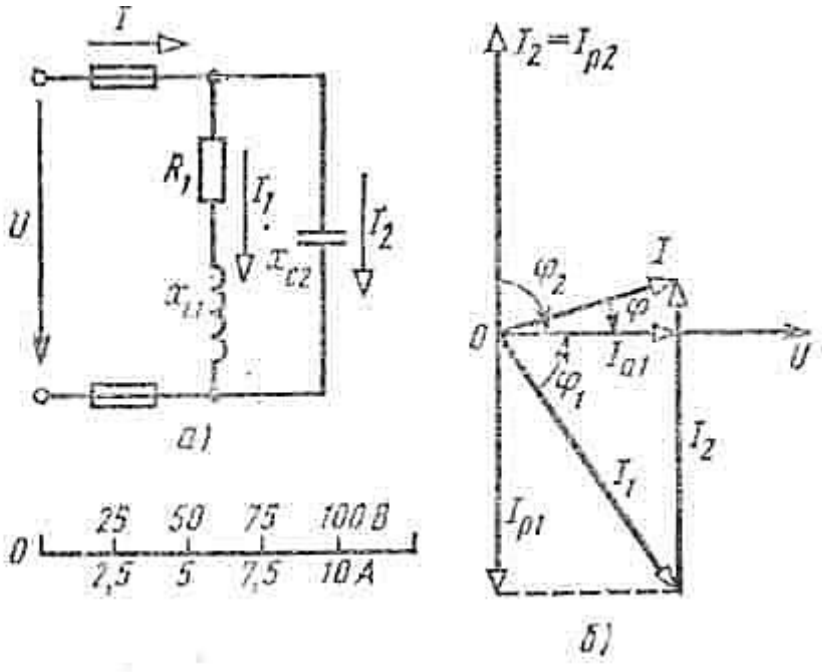


Рис.3

Начертить в масштабе векторную диаграмму цепи. К цепи приложено напряжение U= 100 В.

Решение:

Токи в ветвях цепи:

$I_1 = \frac{U}{\sqrt{R_1^2 + x_{L1}^2}} = \frac{100}{6^2+8^2} = 10\ A;\ I_1 = \frac{U}{X_{c2}} = \frac{100}{10} = 10A.$

Углы сдвига фаз в ветвях находим по синусам углов во избежание потери знака угла:

$\sin\varphi_1 = \frac{x_{L1}}{Z_1} = \frac{8}{\sqrt{6^2+8^2}} = 0{,}8;\ \varphi = 53°10'$

Так как $\varphi_1 > 0$, то напряжение опережает ток, $\sin\varphi_2 = -x_{C2}/z_2 = -10/10 = -1{,}0;\ \varphi_2 = -90°$, т.е. напряжение отстает от тока, так как $\varphi_2 = <0$. По таблицам Брадиса находим $\cos\varphi_1 = \cos 53°10' = 0{,}6;\ \cos\varphi_2 = 0$.

Активные и реактивные составляющие токов в ветвях цепи:

$I_{a1} = I_1\cos\varphi_1 = 10 \cdot 0{,}6 = 6A;\ I_{p1} = I_1 \sin\varphi_1 = 10 \cdot 0{,}8 = 8A;\ I_{a2} = 0;$

$I_{p2} = 10(-1{,}0) = -10A$

Ток в неразветвленной части цепи:

$$I = \sqrt{(I_{a1} + I_{a2})^2 + (I_{p1} + I_{p2})^2} = \sqrt{(6+0)^2 + (8-10)^2} = 6{,}33\ A$$

Коэффициент мощности всей цепи:

$$\cos\varphi = \frac{I_{a1}+I_{a2}}{I} = \frac{6+0}{6.33} = 0.95$$

Активные и реактивные мощности ветвей и всей цепи:

$P_1 = UI_1\cos\varphi_1 = 100 \cdot 10 \cdot 0{,}6 = 600$ Вт; $P_2 = 0$; $P = P_1 + P_2 = 600$ Вт;

$Q_1 = = UI_1\sin\varphi_1 = 00 \cdot 10 \cdot 0{,}8 = 800$ ВАР; $Q_2 = UI_2\sin\varphi = 100 \cdot 10(-1{,}0) = -100$ ВАр;

$Q = Q_1 + Q_2 = 800 - 1000 = -200$ ВАр.

Внимание! Реактивная мощность ветви с емкостью отрицательная, так как $\varphi_2 < 0$.

- Полная мощность цепи:

$S = \sqrt{P^2 + Q^2} = \sqrt{600^2 + 200^2} = 633$ В·А.

Ток в неразветвленной части цепи можно определить значительно проще, без разложения токов на составляющие, зная полную мощность цепи и напряжение:

$$I = \frac{S}{U} = \frac{633}{100} = 6{,}33\ A$$

- Для построения векторной диаграммы задаемся масштабом по току: в 1 см – 2,5 А и масштабом по напряжению: в 1 см – 25 В. Построение начинаем с

вектора напряжения U (рис. 3б). Под углом φ_1к нему (в сторону отставания) откладываем в масштабе вектор тока I_1, под углом φ_2 (в сторону опережения)- вектора тока I_2. Геометрическая сумма этих токов равна току в неразветвленной части цепи. На диаграмме показаны также проекции векторов токов на вектор напряжения (активная составляющая I_{a1}) и вектор, перпендикулярный ему (реактивные составляющие I_{p1} и I_{p2}). При отсутствии конденсатора реактивная мощность первой ветви не компенсировалась бы, и ток в цепи увеличился бы до I = I_1= 10 А.

-

Методические указания к решению задачи 4,5

Решение задач этой группы требует значения учебного материала темы «Трехфазные цепи», отчетливого представления об особенностях соединения источников и потребителей в звезду и треугольник; соотношениях между линейными и фазными величинами при таких соединениях; а также умения строить векторные диаграммы при симметричной и несимметричной нагрузках. Содержание задач и схемы цепей приведены в условиях задач, а данные к ним – в соответствующих таблицах. Для пояснения общей методики решения задач на трехфазные цепи, включая построение векторных диаграмм, рассмотрены типовые примеры 4-7

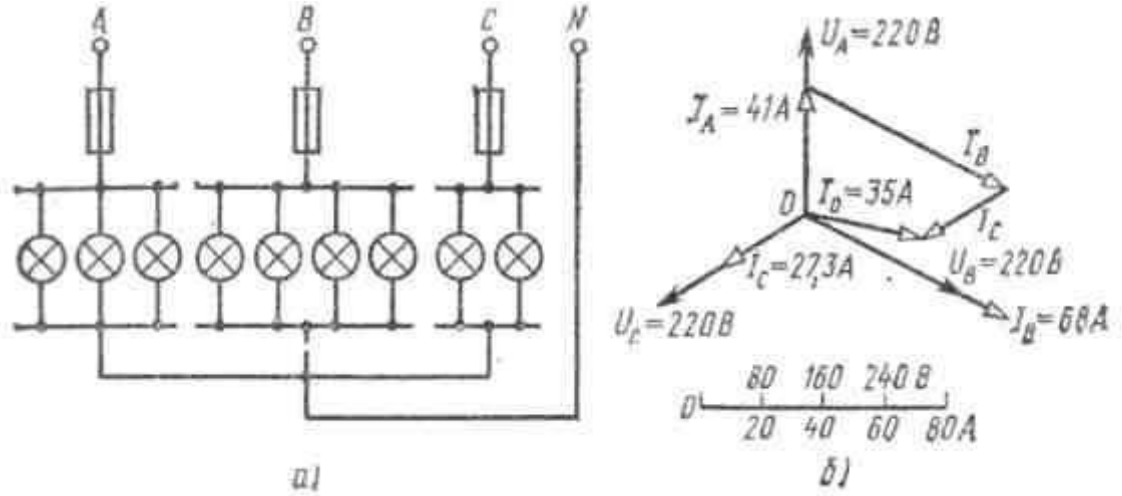


Рис.4

Пример 4. В трехфазную четырехпроводную сеть включены звездой лампы накаливания мощностью Р =300 Вт каждая. В фазу А включили 30 ламп, в фазу В –50 ламп и в фазу С- 20 ламп. Линейное напряжение сети $U_{ном}$ = 380 В (рис. 4а). Определить токи в фазах и начертить векторную диаграмму цепи, из которой найти числовое значение тока в нулевом проводе.

Решение:

Фазные напряжения в сети:

$U_A = U_B = U_C = \frac{U_{ном}}{\sqrt{3}} = \frac{380}{1,73}$ =220 В

Фазные токи нагрузки:

$$I_A = \frac{P_{ФА}}{U_A} = \frac{300 \cdot 30}{220} = 41 \text{ А}; \quad I_B = \frac{P_{ФВ}}{U_B} = \frac{300 \cdot 50}{220} = 68 \text{ А};$$

$$I_C = \frac{P_{ФС}}{U_C} = \frac{300 \cdot 20}{220} = 27{,}3 \text{ А}.$$

Для построения векторной диаграммы выбираем масштабы по току: 1см – 20А и по напряжению: 1 см – 80 В. Построение диаграммы начинаем с векторов фазных напряжений U_A, U_B, U_C (рис. 4б), располагая их под углом 120° друг относительно друга. чередование фаз обычное: за фазой А – фаза В, за фазой В – фаза С. Лампы накаливания являются активной нагрузкой, поэтому ток в каждой фазе совпадает с соответствующим фазным напряжением. В фазе А ток I_A= 41 А, поэтому на диаграмме он выразится вектором, длина которого равна 41/02 == 2,05 см. длина вектора фазного напряжения U_A составит 220/80 = 2,75 см. Аналогично строим векторы токов и напряжений в остальных фазах. Ток I_0 в нулевом проводе является геометрической суммой всех фазных токов. Измеряя длину вектора тока I_0 в нулевом проводе, получаем 1,75 см, поэтому I_0 = 1,75·20 = 35 А. Векторы линейных напряжений на диаграмме не показаны, чтобы не усложнять чертеж.

Пример 5. В трехфазную четырехпроводную сеть включили звездой несимметричную нагрузку: в фазу А – конденсатор с емкостным сопротивлением X_A = 10 Ом; в фазу В – активное сопротивление R_B = 8 Ом и индуктивное X_B = 6 Ом; в фазу С – активное сопротивление R_C = 5 Ом.

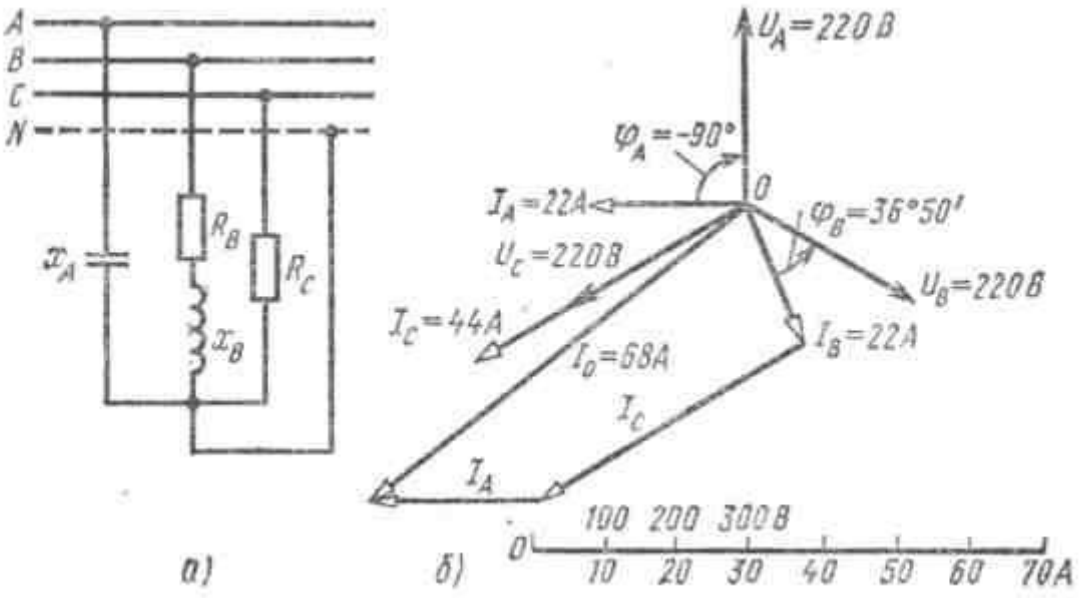


Рис. 5

Линейное напряжение сети $U_{ном}$ = 380 В. Определить фазные токи, начертить в масштабе векторную диаграмму цепи и найти графически ток в нулевом проводе. Схема цепи на рис. 5а.

Решение:

- Фазные напряжения в сети: $U_A = U_B = U_C = \frac{U_{ном}}{\sqrt{3}} = \frac{380}{\sqrt{3}}$ =220 В

- Фазные токи токоприемников:

$I_A = \frac{U_A}{x_A} = \frac{220}{10} = 22A$; $I_B = \frac{U_B}{Z_B} = \frac{220}{10} = 22A$;

Здесь: $z_B = \sqrt{R_B^2 + X_B^2} = \sqrt{8^2 + 6^2} = 10$ Ом; $I_C = \frac{U_C}{R_C} = \frac{220}{5} = 44A$

Для построения векторной диаграммы выбираем масштабы по току: 1 см – 10 А и по напряжению: 1 см- 100 В. Построение диаграммы начинаем с векторов фазных напряжений U_A, U_B иU_C, располагая их под углом 120° друг относительно друга (рис 5б). Ток I_A опережает напряжение U_A на угол 90°: ток I_B отстает от напряжения U_B на угол φ_B, который определяется из выражения:

$\cos\varphi_B = \frac{R_B}{Z_B} = \frac{8}{\sqrt{8^2+6^2}} = 0{,}8$; φ_B =36°50'

Ток I_C совпадает с напряжением U_C. Ток в нулевом проводе равен геометрической сумме трех фазных токов. Измеряя длину вектора тока I_0, которая оказалась равной 6,8 см, находим ток I_0= 68 А.

Пример 6. В трехфазную сеть включили треугольником несимметричную нагрузку (рис. 6а): в фазу АВ – конденсатор с емкостным сопротивлением X_{AB} = 10 Ом; в фазу ВС – катушку с активным сопротивлением R_{BC} = 4 Ом и индуктивным X_{BC} = 3 Ом; в фазу СА – активное сопротивление R_{AC} = 10 Ом.

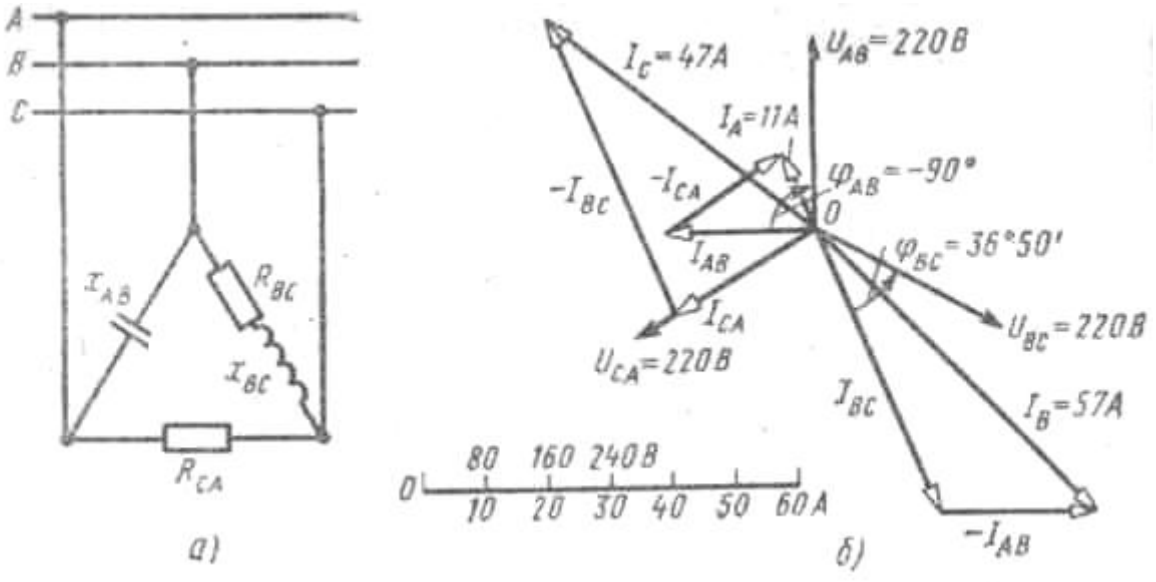


Рис. 6

Линейное напряжение сети $U_{ном}$ = 220 В. Определить фазные токи, углы сдвига фаз и начертить в масштабе векторную диаграмму цепи. По векторной диаграмме определить числовые значения линейных токов.

Решение :

Определяем фазные токи и углы сдвига фаз:

$I_{AB} = \frac{U_{ном}}{x_{AB}} = \frac{220}{10} = 22$ А;φ_{AB} = -90°;

$I_{BC} = \frac{U_{ном}}{Z_{BC}} = \frac{U_{ном}}{\sqrt{R_{BC}^2 + x_{BC}^2}} = \frac{220}{\sqrt{4^2+3^2}} = 44$А;

$\cos\varphi_{BC} = \frac{R_{BC}}{Z_{BC}} = \frac{4}{5} = 0{,}8$, где: $Z_{BC} = \sqrt{4^2 + 3^2}$ =5 Ом.

Отсюда угол φ_{BC} =36°50'.

$I_{CA} = \frac{U_{ном}}{R_{CA}} = \frac{220}{10} = 22$ А;φ_{CA} = 0.

Для построения векторной диаграммы выбираем масштаб по току: 1см -10 А, по напряжению: 1 см – 80 В. Затем в принятом масштабе откладываем векторы фазных (они же линейные) напряжений U_{AB}, U_{BC}, U_{CA} под углом 120° друг относительно друга (рис 6б). Под углом φ_{AB} = - 90° к вектору напряжений U_{AB} откладываем вектор тока I_{AB}; в фазе ВС вектор тока I_{BC} должен отставить от вектора напряженияU_{BC} на угол φ_{CB} = 36°50', а в фазе СА вектор тока I_{CA} совпадает с вектором напряжения U_{CA}. Затем строим векторы линейных токов на основании известных уравнений:

$I_A = I_{AB} - I_{CA} = I_{AB} + (-I_{CA})$; $I_B = I_{BC} + (-I_{AB})$; $I_C = I_{CA} + (-I_{BC})$.

Измеряя длины векторов линейных токов и пользуясь принятым масштабом, находим значения линейных токов:

I_A = 11 А; I_B= 57 А; I_C = 47 А.

Пример 7. В трехфазную четырехпроводную сеть включены печь сопротивления, представляющая собой симметричную нагрузку, соединенную треугольником, и несимметричная осветительная нагрузка в Виле ламп накаливания, соединенных звездой (рис. 10а). Мощность каждой фазы печи P_n = 10 кВт. Мощность каждой лампы P_n = 200 Вт.

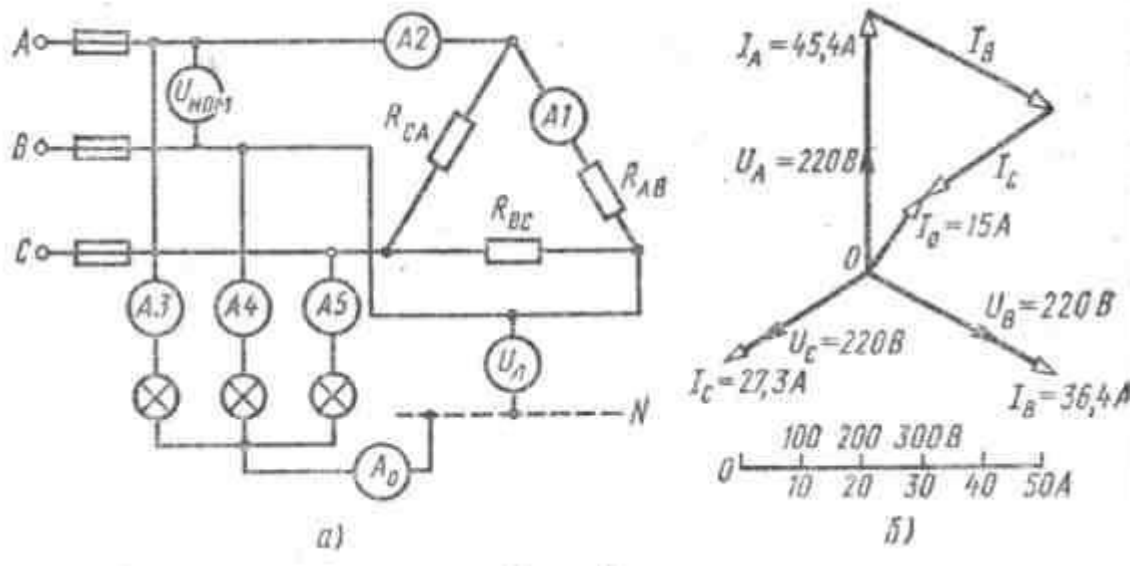


Рис. 7

Число ламп в фазах n_A = 50; n_B =30. Номинальное напряжение сети $U_{ном}$ = 380 В. Определить показания всех приборов, включенных в схему.

Решение:

Фазные токи, потребляемые печью:

$$I_{AB} = I_{BC} = I_{CA} = \frac{P_n}{U_{ном}} = \frac{10 \cdot 1000}{380} = 26{,}3 \text{ А}$$

Таким образом, амперметр A_1 покажет силу тока 26,3 А.

Линейные токи, потребляемые симметричной нагрузкой, превышают фазные в$\sqrt{3}$ раза, т.е. $I_A = I_B = I_C = \sqrt{3} \cdot 26{,}3 = 45{,}5$ А. Это значение покажет амперметр A_2.

Фазные токи, потребляемые ламповой нагрузкой. Лампы соединены звездой и включены на фазные напряжения $U_A = U_B = U_C = \frac{U_{ном}}{\sqrt{3}} = \frac{380}{\sqrt{3}} = 220$ В. Это напряжение покажет вольтметр $V_л$. Поэтому фазные токи:

$$I_A = \frac{P_{л\,n_A}}{U_A} = \frac{200 \cdot 50}{220} = 45{,}4 \text{ А}\ ;\ I_B = \frac{P_{л\,n_B}}{U_B} = \frac{200 \cdot 40}{220} = 36{,}4 \text{ А}\ ;$$

$$I_C = \frac{P_{л\,n_C}}{U_C} = \frac{200 \cdot 30}{220} = 27{,}3 \text{ А}.$$

Амперметры A_3,A_4, A_5, включенные в линейные провода, соответственно покажут эти токи.

Для определения тока в нулевом проводе I_0 начертим в масштабе векторную диаграмму цепи, где включены лампы. Выбираем масштаб для напряжений и токов 1 см –100 В; 1 см – 10 А. затем в принятом масштабе откладываем векторы фазных напряжений U_A , U_B и U_C, располагая их под углом 120° друг относительно друга (рис. 7б). чередование фаз обычное: за фазой А – фаза В, за фазой В – фаза С. Лампы накаливания являются активной нагрузкой, поэтому ток в каждой фазе совпадает с соответствующим фазным напряжением. В фазе А ток I_A= 45,4 А,

поэтому на диаграмме он выразится вектором, для которого равна $\frac{45,4}{10} = 4,54$ см; длина вектора фазного напряжения U_A составит: $\frac{220}{100} = 2,2$ см. Аналогично строим векторы токов и напряжений в остальных фазах. Ток I_0 в нулевом проводе определяется геометрической суммой всех трех фазных токов. Измеряя длину вектора тока I_0, которая оказалась равной 1,5 см, получим значение тока в нулевом проводе: I_0 =15 А. Векторы линейных напряжений на диаграмме не показаны, чтобы не усложнять чертеж.

Методические указания к решению задач 6,7

Для их решения необходимо знать устройство, принцип действия и зависимости между электрическими величинами однофазных и трехфазных трансформаторов, уметь определять по их паспортным данным технические характеристики. Основными параметрами трансформаторов являются:

- номинальная мощность $S_{ном}$. Это полная мощность (в кВ·А), которую трансформатор, установленный на открытом воздухе, может непрерывно отдавать в течение своего срока службы (20-25 лет) при номинальном напряжении и максимальной и среднегодовой температурах окружающего воздуха, соответственно 40°С и 5°С. Если указанные температуры отличаются от номинальных, то и номинальная мощность будет отличатся от указанной в паспорте;

- номинальное первичное напряжение $U_{ном1}$. Это напряжение, на которое рассчитана первичная обмотка трансформатора;

- номинальное вторичное напряжение $U_{ном2}$. Это напряжение на выводах вторичной обмотки при холостом ходе и номинальном первичном напряжении. При нагрузке вторичное напряжение. При нагрузке вторичное напряжение U_2 снижается из-за потерь в трансформаторе. Например, если $U_{ном2}$= 400 В, то при полной нагрузке трансформатора вторичное напряжение U_2= 380 В, так как 20 В теряется в трансформаторе;

- номинальный первичный и вторичный токи $I_{ном1}$ и $I_{ном2}$. Это токи, вычисленные по номинальной мощности и номинальным напряжениям. Для однофазного трансформатора:

$$I_{ном1} = \frac{S_{ном}}{U_{ном1}\eta} \; ; I_{ном2} = \frac{S_{ном}}{U_{ном2}} .$$

$$I_{ном1} = \frac{S_{ном}}{\sqrt{3}U_{ном1}\eta}; \; I_{ном1} = \frac{S_{ном}}{\sqrt{3}U_{ном2}} .$$

Здесь η – к.п.д. трансформатора. Эта величина близка к 1,0 из-за малых потерь в трансформаторе. На практике при определении токов принимают η-1,0.

Трансформатора чаще всего работают с нагрузкой меньше номинальной. Поэтому вводят понятие о коэффициенте нагрузки $k_н$. если трансформатор с

$S_{ном}$ = 1000 кВ·А отдает потребителю мощность S_2 = 950 кВ·А, то $k_н$ = 950/1000 = 0,95. Значения отдаваемых трансформатором активной и реактивной мощностей зависят от коэффициента мощности потребителя cosφ_2. Например, при $S_{ном}$ = 1000 кВ·А, $k_н$ = 1,0 и cosφ_2 = 0,9 активная мощность $P_2 = S_{ном}$ cosφ_2 = 1000·0,9 = 900 кВт, а реактивная $Q = S_{ном}$sinφ_2 = 1000·0,436 = 436кВАр. Если потребитель увеличит cosφ_2 до 1,0, то P_2 = 1000·0 =0, т.е. вся отдавая мощность будет активной. В обоих случаях по обмоткам проходят одни и те же номинальные токи. В табл. 1.1 приведены технические данные наиболее распространенных трансформаторов.

Таблица 1.1 Технические данные трансформаторов

Тип Трансформатора	$S_{ном}$, кВ·А	Напряжения обмоток, кВ		Потери мощности, кВт		$U_к$, %	$I_{1х}$, %
		$U_{ном1}$	$U_{ном2}$	$P_{ст}$	$P_{0.ном}$		
ТМ-25/6; 10	25		0,23; 0,4	0,13	0,69	4,7	3,2
ТМ-40/6; 10	40		0,23; 0,4	0,175	1,0	4,7	3,0
ТМ-63/6; 10	63		0,23; 0,4	0,24	1,47	4,7	2,8
ТМ-100/6; 10	100		0,23; 0,4	0,33	2,27	6,8	2,6
ТМ-160/6; 10	160	6,10	0,23; 0,4; 0,69	0,51	3,1	4,7	2,4
ТМ-250/6; 10	250		0,23; 0,4; 0,69	0,74	4,2	4,7	2,3
ТМ-400/6; 10	400		0,23; 0,4; 0,69	0,95	5,5	4,5	2,1
ТМ-630/6; 10	630		0,23; 0,4; 0,69	1,31	7,6	5,5	2,0
ТМ-100/6; 10	1000		0,23; 0,4; 0,69	2,45	12,2	5,5	2,8
ТМ-1600/6; 10	1600		0,23; 0,4; 0,69	3,3	18,0	5,5	2,6
ТМ-2500/10	2500	10	0,4; 0,69; 10,5	4,3	24,0	5,5	1,0

Примечания: Трансформатора ТМ- 630/10 – с масляным охлаждением, трехфазных, номинальная мощность 630 кВ·А, номинальное первичное напряжение 10кВ, вторичное напряжения 0,23; 0,4 и 0,69Кв; 2. $P_{ст}$ – потери встали; $P_{0\ ном}$- потери в обмотках; $U_{к,}$% - напряжение которого замыкания; $I_{1х,}$% - ток холостого хода.

Отношение линейных напряжений в трехфазных трансформаторах называют линейным коэффициентом трансформации, который равен отношению чисел витков обмоток, если они имеют одинаковые схемы соединения (Y/Y и Δ/Δ). При других схемах коэффициент трансформации находят по формулам:

$$К = \frac{U_{ном1}}{U_{ном2}} = \frac{\sqrt{3}\omega_1}{\omega_2} \text{при Y/Δ;}$$

$$К = \frac{U_{ном1}}{U_{ном2}} = \frac{\omega_1}{\sqrt{3}\omega_2} \text{ при Δ/Y.}$$

Для уменьшения установленной мощности трансформаторов и снижения потерь энергии в сетях производят компенсацию части реактивной мощности,

потребляемой предприятием, что достигается установкой на подстанциях конденсаторов. в настоящее время энергосистема разрешает потребление предприятием определенной реактивной мощности $Q_э$, называемой оптимальной и обеспечивающей наименьшие эксплуатационные расходы в энергосистеме. Если фактическая реактивная мощность предприятия немного отличается от заданной (точно ее выдержать нельзя), то предприятие получает скидку с тарифа на электроэнергию; при значительной разнице между $Q_э$ и $Q_ф$ предприятие платит надбавку к тарифу, исчисляемую по специальной шкале.

Таблица 1.2 Технические данные комплектных конденсаторных установок напряжением 380 В

Тип установки	$Q_б$, кВАр	Тип установки	$Q_б$, кВАр	Тип установки	$Q_б$, кВАр
УК-0,38-75	75	УК-0,38-220Н	220	УК-0,38-330Н	330
УК-0,38-78	78	УК-0,38-225Н	225	УК-0,38-430Н	430
УК-0,38-110Н	110	УК-0,38-300Н	300	УК-0,38-450Н	450
УК-0,38-150Н	150	УК-0,38-320Н	320	УК-0,38-540Н	540

Пусть реактивная мощность предприятия Q = 5000 кВАр, а заданная системой мощность $Q_э$ = 1000 кВАр. Тогда предприятие должно скомпенсировать с помощью конденсаторов реактивную мощность$Q_б$ = Q-$Q_э$= 5000-1000 =4000 кВАр. Выбираем по таблице 1.2 девять комплектных установок УК-0,38-450Н мощностью 450 кВАр. Суммарная реактивная мощность батареи 9·450 = 4050 кВАр, что близко к необходимому значению 4000 кВАр.

Пример 8. Трехфазный трансформатор имеет следующее номинальные характеристики: $S_{ном}$= 1000 кВ·А, $U_{ном1}$ = 10 кВ,$U_{ном2}$=400 В. Потери встали $P_{ст}$ = 2,45 кВт, потери в в обмотках $P_{0.ном}$= 12,2кВт. Первичные обмотки соединены в треугольниках, вторичные в звезду. Сечение магнитопровода Q =450 $см^2$, амплитуда магнитной индукции в нем B_m= 1,5 Тл. Частота тока в сети f= 50 Гц. От трансформатора потребляется активная мощность P_2 = 810 кВт при коэффициенте мощности cosφ_2 = 0,9. Определить: 1) номинальные токи в обмотках и токи при фактической нагрузке; 2) числа витков обмоток; 3) к.п.д. трансформатора при номинальной и фактической нагрузках.

Решение:

- номинальные токи обмотки:

$$I_{ном1}=\frac{S_{ном}\cdot 1000}{\sqrt{3}U_{ном1}}=\frac{1000\cdot 1000}{1{,}73\cdot 10000}=58\ А;$$

$$I_{ном2}=\frac{S_{ном}\cdot 1000}{\sqrt{3}U_{ном2}}=\frac{1000\cdot 1000}{1{,}73\cdot 400}=1445\text{ А.}$$

- Коэффициент нагрузки трансформатора:

$$k_н=\frac{P_2}{S_{ном}\cos\varphi_2}=\frac{810}{1000\cdot 0{,}9}=0{,}9.$$

- Токи в обмотках при фактической нагрузке:

$$I_1=k_нI_{ном1}=0{,}9\cdot 58=52\text{ А};I_2=k_нI_{ном2}=0{,}9\cdot 1445=1300\text{ А.}$$

- Фазные э.д.с., наводимые в обмотках. Первичные обмотки соединены в треугольник, а вторичные – в звезду, поэтому, пренебрегая падением напряжения в первичной обмотке, считаем:

$$E_{1ф}\approx U_{ном1}\text{- }10000\text{В};\ E_{2ф}=\frac{U_{ном2}}{\sqrt{3}}=\frac{400}{\sqrt{3}}=230\text{В.}$$

- Числа витков обеих обмоток находим из формулы:

$$E_{1ф}=4{,}44f\omega_1\Phi_m=4{,}44f\omega_1B_mQ\text{, откуда}$$

$$\omega_1=\frac{E_{1ф}}{4{,}44fB_mQ}=\frac{10000}{4{,}44\cdot 50\cdot 1{,}5\cdot 0{,}045}=667$$

здесь Q = 450 см^2 = 0,045 м^2

$$\omega_2=\frac{\omega_1E_{2ф}}{E_{1ф}}=\frac{667\cdot 230}{10000}=15{,}3.$$

- К.п.д. трансформатора при номинальной нагрузке:

$$\eta_{ном}=\frac{S_{ном}\cos\varphi_2\cdot 100}{S_{ном}\cos\varphi_2+P_{ст}+P_{0\ ном}}=\frac{1000\cdot 0{,}9\cdot 100}{1000\cdot 0{,}9+2{,}45+12{,}2}=98{,}4\%.$$

- К.п.д. трансформатора при фактической нагрузке:

$$\eta=\frac{k_нS_{ном}\cos\varphi_2}{k_нS_{ном}\cos\varphi_2+P_{ст}+k_н^2P_{0\ ном}}100=\frac{0{,}9\cdot 1000\cdot 0{,}9}{0{,}9\cdot 1000\cdot 0{,}9+2{,}45+0{,}9^2\cdot 12{,}2}100=98{,}5\%.$$

Пример 9. Однофазный понижающий трансформаторов номинальной мощностью : $S_{ном}$= 500 В·А служит для питания ламп мастного освещения металлорежущих станков. Номинальные напряжения обмоток $U_{ном1}$ = 380 В; $U_{ном2}$ = 24 В. К трансформатору присоединены десять ламп накаливания мощностью 40 Вт каждая, их коэффициент мощности $\cos\varphi_2$ = 1,0. Магнитный поток в магнитопроводе Φ_m= 0.005 Вб. Частота тока в сети f = 50 Гц. Потерями в трансформаторе пренебречь. Определить: 1) Номинальные токи в обмотках; 2) коэффициент нагрузки трансформатора; 3) токи в обмотках при действительной нагрузке; 4) числа витков обмоток; 5) коэффициент трансформации.

Решение:

- Номинальные токи в обмотках:

$$I_{ном1}= \frac{S_{ном}}{U_{ном1}} = \frac{500}{380} = 1{,}32 \text{ А};$$

$$I_{ном2}= \frac{S_{ном}}{U_{ном2}} = \frac{500}{24} = 20{,}8 \text{ А}.$$

- Токи в обмотках при действительной нагрузке:

$$I_1= k_н I_{ном1}= 0{,}8\cdot 1{,}32 = 1{,}06\text{А};\quad I_2= k_н I_{ном2}= 0{,}8\cdot 20{,}8 = 16{,}6\text{А}.$$

- При холостом ходе $E_1 \approx U_{ном1}$; $E_2 = U_{ном2}$. Числа витков обмоток находим из формулы:

$$E = 4{,}44 f \omega \Phi_m$$

$$\text{Тогда } \omega_1 = \frac{E_1}{4{,}44 f \Phi_m} = \frac{380}{4{,}44\cdot 50\cdot 0{,}005} = 340 \text{ витков};$$

$$\omega_2 = \frac{E_2}{4{,}44 f \Phi_m} = \frac{24}{4{,}44\cdot 50\cdot 0{,}005} = 22 \text{ витка}.$$

- Коэффициент трансформации:

$$К= \frac{E_1}{E_2} = \frac{\omega_1}{\omega_2} = \frac{340}{22} = 15{,}5.$$

Методические указания к решению задачи 8

Пример 10. Трехфазный асинхронный электродвигатель с короткозамкнутым ротором типа 4АР160S6У3 имеет номинальные данные: мощность Рном=11 кВт; напряжение Uном= 380 В; частота вращения ротора n_2=975 об/мин; КПД $\eta_{ном}$= 0,855; коэффициент мощности $\cos\varphi_{ном}$=0,83;, кратность пускового тока $I_п/I_{ном}$ =7; кратность пускового момента Мп/Мном =2; способность к перегрузке Mmax/M ном = 2,2. Частота тока в сети f_1=50 Гц.

Определить: 1) потребляемую мощность; 2) номинальный, пусковой и максимальный моменты; 3) номинальный и пусковой токи; 4) номинальное скольжение; 5) частоту тока в роторе; 6) суммарные потери в двигателе. Расшифровать его условное обозначение. Можно ли осуществить пуск двигателя при номинальной нагрузке, если напряжение в сети при пуске снизилось на 20%?

Номера вариантов и задач для контрольной работы

Номер варианта	Номера задач						Номер варианта	Номера задач					
01	1	2	4	6	8		51	1	2	4	6	8	
02	1	3	5	7	8		52	1	3	5	7	8	
03	1	2	4	6	8		53	1	2	4	6	8	
04	1	3	5	7	8		54	1	3	5	7	8	
05	1	2	4	6	8		55	1	2	4	6	8	
06	1	3	5	7	8		56	1	3	5	7	8	
07	1	2	4	6	8		57	1	2	4	6	8	
08	1	3	5	7	8		58	1	3	5	7	8	
09	1	2	4	6	8		59	1	2	4	6	8	
10	1	3	5	7	8		60	1	3	5	7	8	
11	1	2	4	6	8		61	1	2	4	6	8	
12	1	3	5	7	8		62	1	3	5	7	8	
13	1	2	4	6	8		63	1	2	4	6	8	
14	1	3	5	7	8		64	1	3	5	7	8	
15	1	2	4	6	8		65	1	2	4	6	8	
16	1	3	5	7	8		66	1	3	5	7	8	
17	1	2	4	6	8		67	1	2	4	6	8	
18	1	3	5	7	8		68	1	3	5	7	8	
19	1	2	4	6	8		69	1	2	4	6	8	
20	1	3	5	7	8		70	1	3	5	7	8	
21	1	2	4	6	8		71	1	2	4	6	8	
22	1	3	5	7	8		72	1	3	5	7	8	
23	1	2	4	6	8		73	1	2	4	6	8	
24	1	3	5	7	8		74	1	3	5	7	8	
25	1	2	4	6	8		75	1	2	4	6	8	
26	1	3	5	7	8		76	1	3	5	7	8	
27	1	2	4	6	8		77	1	2	4	6	8	
28	1	3	5	7	8		78	1	3	5	7	8	
29	1	2	4	6	8		79	1	2	4	6	8	
30	1	3	5	7	8		80	1	3	5	7	8	
31	1	2	4	6	8		81	1	2	4	6	8	
32	1	3	5	7	8		82	1	3	5	7	8	
33	1	2	4	6	8		83	1	2	4	6	8	
34	1	3	5	7	8		84	1	3	5	7	8	
35	1	2	4	6	8		85	1	2	4	6	8	
36	1	3	5	7	8		86	1	3	5	7	8	
37	1	2	4	6	8		87	1	2	4	6	8	
38	1	3	5	7	8		88	1	3	5	7	8	
39	1	2	4	6	8		89	1	2	4	6	8	
40	1	3	5	7	8		90	1	3	5	7	8	

41	1	2	4	6	8		91	1	2	4	6	8	
42	1	3	5	7	8		92	1	3	5	7	8	
43	1	2	4	6	8		93	1	2	4	6	8	
44	1	3	5	7	8		94	1	3	5	7	8	
45	1	2	4	6	8		95	1	2	4	6	8	
46	1	3	5	7	8		96	1	3	5	7	8	
47	1	2	4	6	8		97	1	2	4	6	8	
48	1	3	5	7	8		98	1	3	5	7	8	
49	1	2	4	6	8		99	1	2	4	6	8	
50	1	3	5	7	8		100	1	3	5	7	8	

Контрольная работа 1

Задача 1 (варианты 01-00). Цепь постоянного тока содержит несколько резисторов, соединенных смешано. Схема цепи с указанием сопротивлений резисторов приведена на соответствующем рисунке. Номер рисунка, заданные значения одного из напряжений или токов и величина, подлежащая определению, приведены в таблице 1.6. всюду индекс тока или напряжения совпадает с индексом резистора, по которому проходит этот ток или на каждом действует это напряжение. Например, через резистор R_3 проходит ток I_3 и на нем действует напряжение U_3. Определить также мощность, потребляемую всей цепью, и расход электрической энергии цепью за 8 ч. работы.

Пояснить с помощью логических рассуждений характер изменения электрической величины, заданной в таблице вариантов (увеличится, уменьшится останется без изменения), если один из резисторов замкнуть накоротко или выключить из схемы. Характер действия с резистором и его номер указан в табл. 1.3. при этом считать направление U_{AB} неизменимым. При трудностях логических пояснений ответа можно выполнить расчет требуемой величины в измененной схеме и на основании сравнения ее в двух схемах дать ответ на вопрос.

Указание. См. решение типового примера 1.

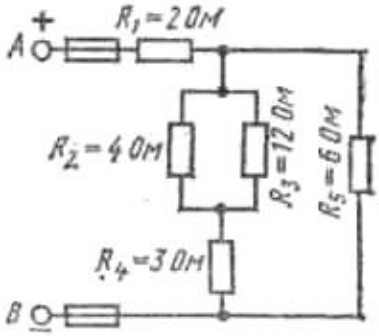


Рис. 11

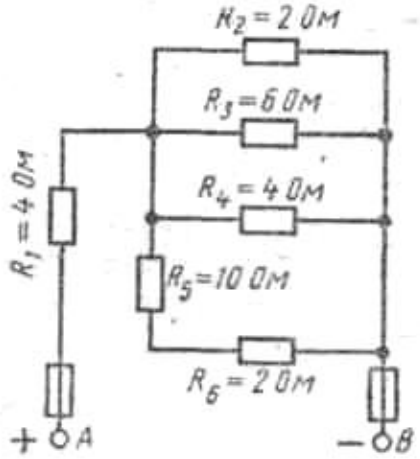


Рис. 13

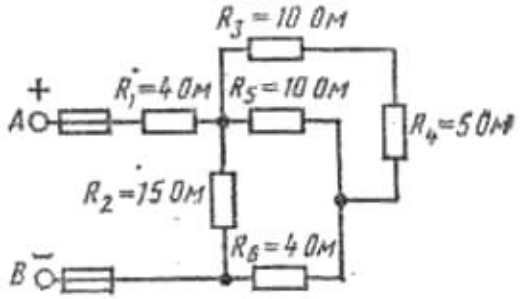


Рис. 12

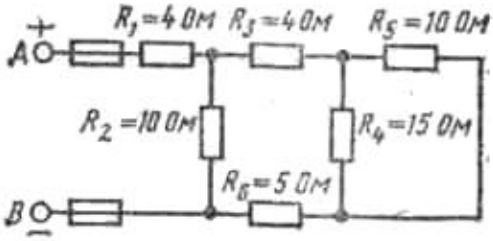


Рис. 14

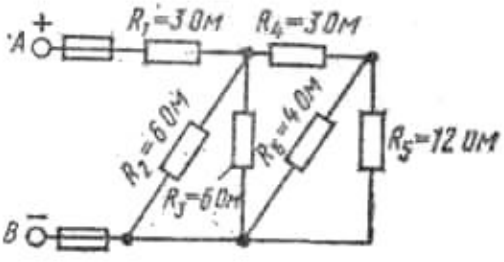


Рис. 15

Таблица 1.6

Номер варианта	Номер рисунка	Задаваемая величина	Определить	Действие с резистором		Изменение какой величины рассмотреть
				Замыкается накоротко	Выключается из схемы	
01	11	U_{AB}=100 В	I_3	R_1	-	I_5
02	12	I_1=20 А	I_4	-	R_4	U_5
03	13	U_2=30В	I_6	R_5	-	I_1
04	14	I_5=10 А	U_{AB}	-	R_2	I_5
05	15	U_{AB}=50 В	I_1	R_2	-	U_3
06	11	I_2=20 А	I_5	-	R_5	U_1
07	12	I_4=5 А	U_{AB}	R_4	-	I_3
08	13	U_5=30 В	I_1	-	R_3	U_4
09	14	I_3=1,5 А	U_1	R_3	-	I_2
10	15	U_{AB}=80 В	U_4	-	R_4	I_5
11	11	I_3=1 А	U_5	R_2	-	U_1
12	12	U_1=20 В	I_4	-	R_5	I_4
13	13	I_5=5 А	U_{AB}	R_5	-	U_1
14	14	I_1=12 А	I_3	-	R_2	U_4
15	15	U_5=60 В	I_1	R_1	-	U_5
16	11	U_{AB}=5 В	U_4	-	R_5	I_3
17	12	I_2=3 А	I_5	R_4	-	U_1
18	13	U_2=12 В	U_1	-	R_4	I_5
19	14	U_4=36 В	I_1	R_4	-	U_5
20	15	$I_4$120А	U_{AB}	-	R_4	U_5
21	11	U_{AB}=50 В	I_3	R_1	-	I_6
22	12	I_2=2 А	U_{AB}	-	R_2	U_1
23	13	I_1=5 А	U_4	R_5	-	I_1
24	14	U_5=18 В	I_1	-	R_6	I_2
25	15	I_3=1,2 А	U_{AB}	R_5	-	U_1
26	11	I_5=6 А	I_1	-	R_3	U_2
27	12	U_{AB}=80 В	I_6	R_1	-	U_5
28	13	I_6=3 А	I_1	-	R_5	U_1
29	14	U_4=10 В	U_{AB}	R_3	-	I_6
30	15	U_1=20 В	I_4	-	R_2	I_5
31	11	I_4=2 А	U_{AB}	R_6	-	I_1
32	12	U_2=30 В	I_1	-	R_4	I_5
33	13	$I_2$43А	U_1	R_5	-	U_3
34	14	U_3=20 В	U_{AB}	-	R_6	U_1
35	15	U_{AB}=60 В	I_5	R_4	-	I_4
36	11	I_1=20 А	I_4	-	R_3	U_5

37	12	U_6=24 В	U_1	R_6	-	I_2
38	13	U_1=40 В	I_6	-	R_5	I_4
39	14	I_6=6 А	U_{AB}	R_4	-	U_1
40	15	U_{AB}=120 В	I_5	-	R_2	U_6
41	11	I_1=12 А	U_6	R_1	-	U_3
42	12	I_4=3 А	U_{AB}	-	R_2	U_1
43	13	U_{AB}=120 В	I_6	R_2	-	I_1
44	14	U_3=24 В	U_{AB}	-	R_6	I_3
45	15	I_6=4 А	U_1	R_6	-	U_2
46	11	I_1=24 А	I_4	-	R_3	I_2
47	12	U_{AB}=120 В	U_5	R_1	-	I_4
48	13	U_1=96 В	I_2	-	R_4	I_1
49	14	I_5=2 А	I_1	R_3	-	U_1
50	15	U_{AB}=60 В	I_3	-	R_2	I_3
51	11	U_2=12 В	U_{AB}	R_5	-	I_3
52	12	I_1=3 А	U_6	-	R_5	U_1
53	13	I_2=6 А	I_1	R_1	-	I_6
54	14	I_4=3 А	I_1	-	R_3	U_5
55	15	U_{AB}=60 В	I_2	R_3	-	I_2
56	11	I_5=4 А	U_{AB}	-	R_4	I_3
57	12	U_4=36 В	I_1	R_4	-	U_1
58	13	I_3=2 А	U_{AB}	-	R_5	I_1
59	14	U_5=120 В	U_1	R_6	-	U_5
60	15	I_1=24 А	U_{AB}	-	R_2	U_6
61	11	I_1=50 А	I_3	R_3	-	U_4
62	12	I_2=15 А	U_{AB}	-	R_6	I_2
63	13	U_2=120 В	I_4	R_2	-	U_3
64	14	U_{AB}=250 В	I_1	-	R_4	I_2
65	15	I_6=8 А	U_1	R_4	-	U_1
66	11	I_4=4 А	I_2	-	R_2	I_1
67	12	I_5=4,8 А	U_{AB}	R_6	-	I_2
68	13	U_1=200 В	I_6	-	R_5	U_1
69	14	U_4=48 В	U_{AB}	R_3	-	I_6
70	15	I_5=6 А	U_2	-	R_6	I_2
71	11	I_3=2,4 А	U_{AB}	R_5	-	U_1
72	12	U_{AB}=200 В	I_5	-	R_3	I_1
73	13	I_1=20 А	I_4	R_1	-	U_6
74	14	I_3=20 А	U_{AB}	-	R_2	

75	15	U_4=120 В	I_2	R_3	-	U_6
76	11	I_1=25 А	U_{AB}	-	R_4	
77	12	U_{AB}=60 В	I_4	R_5	-	
78	13	U_5=120 В	U_1	-	R_5	U_6
79	14	I_6=10 А	I_1	R_1	-	
80	15	U_{AB}=500 В	U_4	-	R_6	U_6
81	11	I_5=1 А	U_{AB}	R_3	-	
82	12	U_4=12 В	U_1	-	R_2	U_6
83	13	I_3=6 А	U_{AB}	R_5	-	U_4
84	14	U_{AB}=60 В	I_1	-	R_4	I_3
85	15	I_1=24 А	U_{AB}	R_1	-	U_6
86	11	U_1=54 В	I_6	-	R_6	U_1
87	12	I_6=3 А	U_1	R_4	-	I_2
88	13	U_5=12 В	I_2	-	R_3	I_1
89	14	I_1=12 А	U_{AB}	R_6	-	U_1
90	15	U_2=36 В	U_1	-	R_5	I_2
91	11	I_6=4,5 А	I_1	R_5	-	I_3
92	12	U_5=24 В	U_1	-	R_2	U_4
93	13	U_3=24 В	U_{AB}	R_3	-	I_4
94	14	I_2=8 А	I_5	-	R_5	I_3
95	15	U_6=12 В	I_1	R_2	-	I_6
96	11	I_4=6 А	U_3	-	R_6	I_2
97	12	I_3= А	U_{AB}	R_4	-	U_6
98	13	I_1=18 А	U_5	-	R_4	I_1
99	14	U_{AB}=90 В	I_6	R_1	-	I_4
00	15	I_2=4 А	U_5	-	R_3	U_6

Задача 2 (варианты 01-99). Цепь переменного тока содержит различные элементы (резисторы, индуктивности, емкости), включенные последовательно. Схема цепи приведена на соответствующем рисунке. Номер рисунка и значения сопротивлений всех элементов, а также один дополнительный параметр заданы в табл. 2.7.

Начертить схему цепи аппаратов и определить следующие величины, относящиеся к данной цепи, если они не заданы в табл. 2.7:

1) полное сопротивление z;
2) напряжение U, приложенное к цепи;
3) угол сдвига фаз φ (по величине и знаку);
4) активную P, реактивную Qи полную S мощности цепи.

Начертить в масштабе векторную диаграмму цепи и пояснить ее построение. С помощью логических рассуждений пояснить характер изменения (увеличится, уменьшится, останется без изменения) тока, активной мощности в цепи при увеличении частоты тока в два раза. Напряжение, проложенное к цепи, считать неизменным.

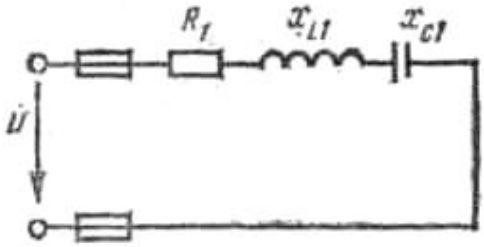


Рис. 16

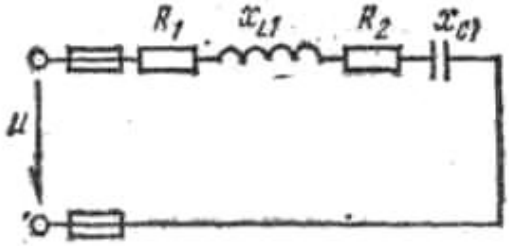


Рис. 17

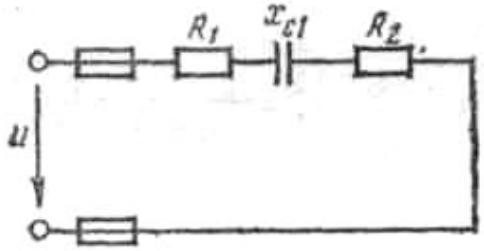


Рис. 18

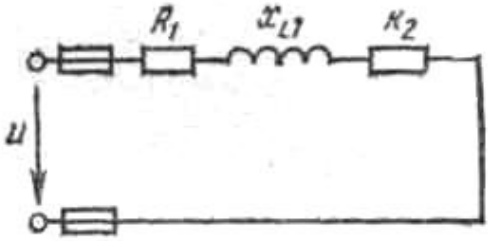


Рис. 19

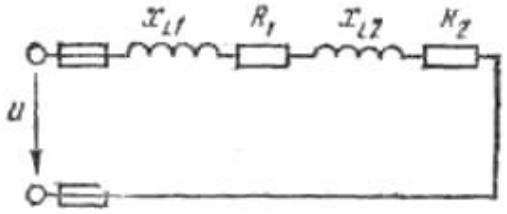


Рис. 20

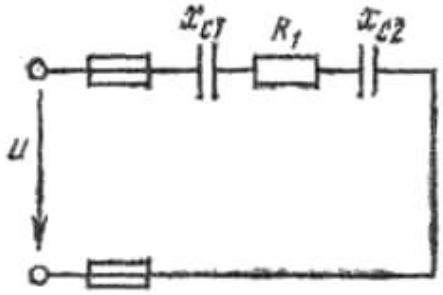


Рис. 21

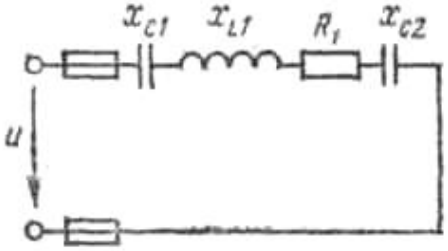


Рис. 22

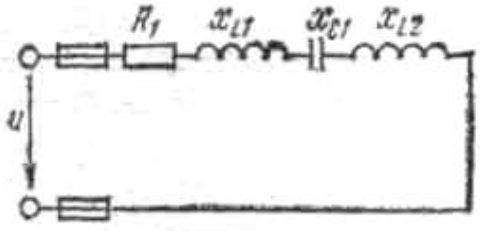


Рис. 23

Таблица 2.7

Номер варианта	Номер рисунка	R_1, Ом	R_2, Ом	x_{L1}, Ом	x_{L2}, Ом	x_{C1}, Ом	x_{C2}, Ом	Дополнительный параметр
01	16	4	-	6	-	3	-	Q_{L1}=150ВАр
51	17	6	2	3	-	9	-	U= 40В
03	18	10	6	-	-	12	-	I =5А
53	19	6	2	6	-	-	-	P_{R1} = 150 Вт
05	20	4	4	3	3	-	-	S = 360 В·А
55	21	3	-	-	-	2	2	I =4А
07	22	8	-	12	-	4	2	P =200 Вт
57	23	16	-	10	8	6	-	U= 80В
09	24	10	6	-	-	8	4	I =2А
50	25	2	2	5	-	6	2	Q=-192ВАр
11	16	3	-	2	-	6	-	U= 50В
61	17	4	4	4	-	10	-	I =4А
13	18	4	2	-	-	8	-	U_{R1}= 20В
63	19	8	4	16	-	-	-	S = 320 В·А
15	20	6	10	8	4	-	-	P = 400 Вт
65	21	6	-	-	-	5	3	S = 160 В·А
17	22	12	-	4	-	12	8	I =4А
67	23	6	-	8	4	4	-	P =54 Вт
19	24	8	4	-	-	6	10	S = 180 В·А
69	25	8	8	12	-	4	2	P = 256 Вт
21	16	6	-	10	-	2	-	I =5А
71	17	4	2	12	-	4	-	P = 24 Вт
23	18	5	3	-	-	6	-	S = 250 В·А
73	19	3	1	3	-	-	-	Q_{L1}=80ВАр
25	20	4	8	10	6	-	-	Q=64ВАр
75	21	8	-	-	-	4	2	U= 40В
27	22	6	-	12	-	2	2	U_{L1}= 60В
77	23	4	-	8	4	9	-	Q=75ВАр
29	24	2	6	-	-	4	2	U_{R2}= 24В
79	25	4	2	4	-	8	4	Q_{L1}=16ВАр
31	16	8	-	4	-	10	-	P = 800 Вт
81	17	3	3	2	-	10	-	Q_{C1}=-160ВАр
33	18	2	2	-	-	3	-	P = 100 Вт
83	19	4	4	6	-	-	-	I =2А
35	20	2	4	2	6	-	-	U= 60В
85	21	16	-	-	-	4	8	Q=-300ВАр
37	22	4	-	10	-	4	3	U_{C2}= 15В
87	23	12	-	14	10	8	-	U_{R1}= 60В
39	24	4	2	-	-	4	4	Q_{C2}=-256ВАр

89	25	1	2	6	-	8	2	U_{C1}= 40В
41	16	12	-	18	-	2	-	S = 500 В·А
91	17	8	4	20	-	4	-	Q_{L1} =500ВАр
43	18	2	1	-	-	4	-	Q_{C1} =100ВАр
93	19	10	6	12	-	-	-	U= 100В
45	20	6	2	4	2	-	-	I =4А
95	21	12	-	-	-	10	6	P = 48 Вт
47	22	3	-	8	-	2	10	Q=-400ВАр
97	23	6	-	5	3	8	-	U_{C1}= 16В
49	24	1	3	-	-	2	1	Q=-48ВАр
99	25	10	6	18	-	4	2	S = 800 В·А

Указание: См. решение типового примера 2.

Примечание. В табл. 2.7. индексы буквенных обозначений следует понимать так:

Q_{L1}– реактивная мощность в первом индуктивном сопротивлении;

Q_{C1}– то же, но в емкостном сопротивлении;

P_{R1}– активная мощность в первом активном сопротивлении;

U_{R1}, U_{L1}, U_{C1}– падения напряжения соответственно в первом активном, индуктивном, первом емкостном сопротивлениях.

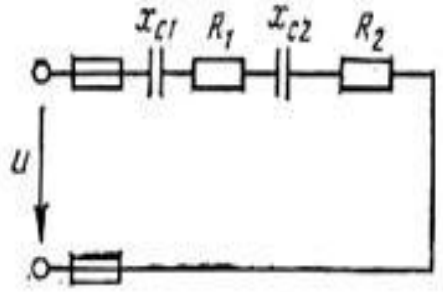


Рис. 24

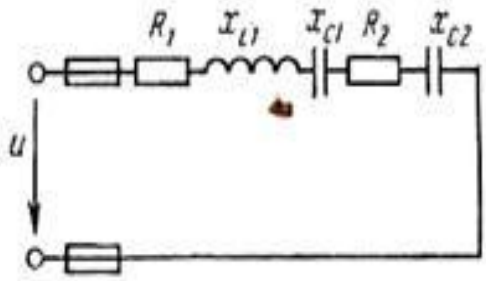


Рис. 25

Задача 3 (варианты 02-00). Цепь переменного тока содержит различные элементы (резисторы, индуктивности, емкости), образующие две параллельные ветви. Схема цепи приведена на соответствующем рисунке. Номер рисунка, значения всех сопротивлений, а также один дополнительный параметр заданы в табл. 3.7. Индекс «1» у дополнительного параметра означает, что он относится к первой ветви; индекс «2» - но второй.

Начертить схему цепи и определить следующие величины, если они не заданы в табл. 3.7:

1) токи I_1 и I_2 в обеих ветвях;
2) ток I в неразветвленной части цепи;
3) напряжение U, приложенное к цепи;

4) активную P, реактивную Q и полную S мощности для всей цепи. Начертить в масштабе векторную диаграмму цепи.

Каким образом в заданной цепи можно получить резонанс токов? Если цепь не позволяет достигнуть резонанса токов, то пояснить, какой элемент надо дополнительно включить в цепь для этого. Начертить схему такой цепи.

Указания:

1) См. решение типового примера 3.

2) См. примечание к задаче 2.

P

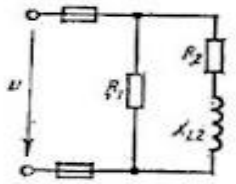


Рис. 36

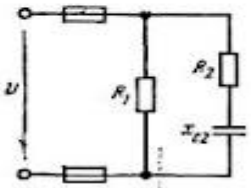


Рис. 37

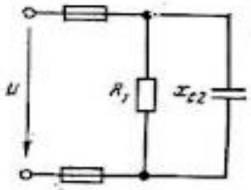


Рис. 38

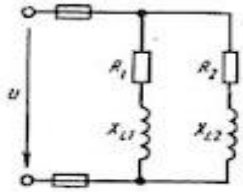


Рис. 39

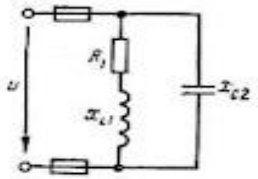


Рис. 40

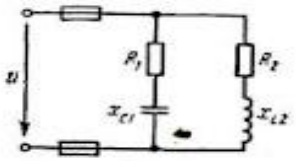


Рис. 41

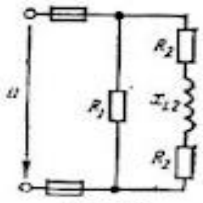


Рис. 42

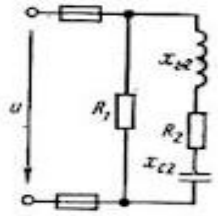


Рис. 43

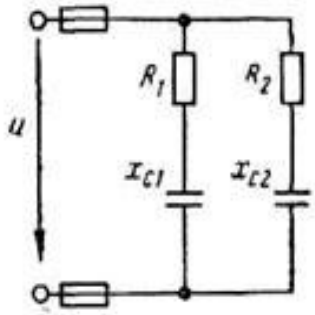


Рис. 44

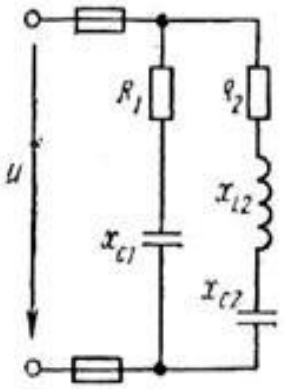


Рис. 45

Таблица 3.7

Номер варианта	Номер рисунка	R_1, Ом	R_2, Ом	x_{L1}, Ом	x_{L2}, Ом	x_{C1}, Ом	x_{C2}, Ом	Дополнительный параметр
02	36	10	12	-	16	-	-	$U_{1,2}$= 24В
52	37	4	8	-	-	-	6	P_1 = 100 Вт
04	38	6	-	-	-	-	3	I_1 =2А
54	39	16	32	12	24	-	-	U_{L1}= 48В
06	40	32	-	24	-	-	25	P =800 Вт
56	41	8	6	-	8	6	-	Q_{C1}=-150ВАр
08	42	15	8	-	12	-	-	S_2 = 180 В·А
58	43	20	24	-	40	-	8	U_{R2}= 24В
10	44	12	8	-	-	16	6	S_1 = 180 В·А
60	45	4	6	-	2	3	10	Q_{C1}=-432ВАр
12	36	5	16	-	12	-	-	P_1 =320 Вт
62	37	3	6	-	-	-	8	P_2 =54 Вт
14	38	4	-	-	-	-	6	U= 12В
64	39	32	12	24	16	-	-	$Q_{1,2}$=64ВАр
16	40	12	-	16	-	-	15	I_2 =4А
66	41	64	24	-	32	48	-	S_2 = 640 В·А
18	42	6	4	-	6	-	-	U_{R2}= 12В
68	43	16	16	-	8	-	20	$Q_{1,2}$=128ВАр
20	44	4	8	-	-	3	6	S_2 = 40 В·А
70	45	12	32	-	30	16	6	$Q_{1,2}$=120ВАр
22	36	2	3	-	4	-	-	U_{R2}= 12В
72	37	8	16	-	-	-	12	I_1 =5А
24	38	5	-	-	-	-	8	P =125 В
74	39	64	24	48	32	-	-	P_1 =576 В
26	40	8	-	6	-	-	5	Q_{C2}=-80ВАр
76	41	3	4	-	3	4	-	U_{R2}= 16В
28	42	20	16	-	24	-	-	P_1 =320 В
78	43	10	3	-	8	-	4	S_2 = 500 В·А

30	44	3	6	-	-	4	8	Q_{C1}=-256ВАр
80	45	32	16	-	6	24	18	U_{C2}= 108В
32	36	20	6	-	8	-	-	U= 60В
82	37	10	12	-	-	-	16	U_{R2}= 24В
34	38	8	-	-	-	-	6	I_1 =8А
84	39	24	16	32	12	-	-	P_2 =256 В
36	40	6	-	8	-	-	10	I_2 =2А
86	41	16	32	-	24	12	-	S_1 = 720 В·А
38	42	5	3	-	8	-	-	$U_{1,2}$= 32В
88	43	60	24	-	12	-	60	$U_{1,2}$= 36В
40	44	8	12	-	-	6	16	Q_{C2}=-144ВАр
90	45	4	8	-	12	3	6	U_{R1}= 8В
42	36	10	12	-	16	-	-	Q=400ВАр
92	37	4	8	-	-	-	6	S_2 = 40 В·А
44	38	6	-	-	-	-	8	I_1 =5А
94	39	48	32	64	24	-	-	$Q_2$96ВАр
46	40	3	-	4	-	-	5	U= 40В
96	41	8	3	-	4	6	-	U_{C1}= 30В
48	42	12	6	-	16	-	-	U= 60В
98	43	2	4	-	7	-	4	U_{C2}= 16В
50	44	4	6	-	-	3	8	U_{R1}= 40В
00	45	24	16	-	8	32	20	Q_{C2}=-1280ВАр

Задача 4. В трехфазную четырехпроводную сеть с линейным напряжением $U_{ном}$ включили звездой разные по характеру сопротивления. Определить линейные токи и начертить в масштабе векторную диаграмму цепи. По векторной диаграмме определить числовое значение тока в нулевом проводе. Данные для своего варианта взять из табл. 4.8.

Какое сопротивление надо включить в фазы В и С приведенной схемы, чтобы ток в нулевом проводе стал равен нулю при неизменных значениях сопротивлений в фазе А?

Указание. См. Решение типового примера 5.

Задача 5. В трехфазнуютрехпроводную сеть с линейным напряжением $U_{ном}$ включили треугольником разные по характеру сопротивления. Определить фазные токи и начертить в масштабе векторную диаграмму цепи. Из векторной диаграммы определить числовые значения линейных токов. Данные из вариантов взять из табл. 4.8.

Как изменяются значения фазных и линейных токов и взаимное расположение векторов токов и напряжений при увеличении частоты тока в сети в два раза?

Указание. См. решение типового примера 6.

Табл. 4.8

№ Варианта/4	Номинал. Лин.напр. $U_и$	Фаз А АВ Δ			Фаза А ВС Δ			Фаза С СА Δ			№ Варианта Δ/5
		R_A	L	C	R_B	L	C	R_C	L	C	
-	*В*	*Ом*	*мГн*	*мкФ*	*Ом*	*мГн*	*мкФ*	*Ом*	*мГн*	*мкФ*	-
01	380	-	31,8	150	20	48	-	22	-	-	02
03	220	15	40	-	18	-	190	16	-	210	04
05	660	32	-	215	-	78	-	42	-	150	06
07	380	18	19,1	-	-	-	289,5	25	-	-	08
09	220	40	95,54	-	35	-	45,5	28	191,1	121,4	10
11	660	-	-	121,4	55	127,38	-	80	-	83,3	12
13	220	38	143,3	-	-	-	90	35	-	223	14
15	380	36	95,54	-	-	11,46	-	44	127,4	-	16
17	660	55	-	53,1	80	-	57,9	65	-	63,69	18
19	220	-	175,16	79,62	70	-	79,62	45	111,46	-	20
21	380	42	-	91	38	159,2	-	-	-	53,08	22
23	660	70	-	-	95	180,4	-	75	-	91	24
25	220	38	95,54	159,24	36	143,3	53,08	26	159,2	159,24	26
27	380	44	11,46	127,4	42	157,16	57,9	28	207	127,4	28
29	660	52	127,4	106,16	38	223	63,69	35	95,54	106,16	30
31	220	42	143,3	91	32	207	70,77	26	111,46	91	32
33	380	72	195,2	79,62	64	191,1	79,62	52	127,4	79,62	34
35	660	46	175,16	70,77	68	175,16	91	80	143,3	70,77	36
37	220	38	191,1	63,69	-	159,2	106,16	66	159,2	63,69	38
39	380	44	207	57,9	50	143,3	127,4	-	175,16	57,9	40
41	660	50	223	53,08	28	127,4	159,24	-	191,1	53,08	42
43	220	54	207	159,24	70	111,46	-	22	207	159,24	44
45	380	66	191,1	127,4	66	95,54	53,08	16	223	127,4	46
47	660	70	175,16	106,16	54	223	-	42	-	53,08	48
49	220	28	159,2	91	50	207	57,9	25	95,54	-	50
51	380	38	143,3	79,02	20	191,1	-	28	-	57,9	52
53	660	56	127,4	70,77	55	175,16	63,69	80	111,46	-	54
55	380	15	111,46	63,69	18	159,2	-	35	127,4	63,69	56
57	220	32	95,54	57,9	-	143,3	70,77	44	-	70,77	58
59	660	40	111,46	53,08	-	127,4	-	65	143,3	-	60
61	220	18	127,4	-	35	111,46	79,62	45	-	79,62	62
63	380	-	143,3	-	55	95,54	-	-	159,2	-	64
65	660	38	159,2	159,24	80	-	91	75	-	91	66

67	220	36	175,16	127,4	70	224	-	26	175,16	-	68
69	380	55	191,1	106,16	38	-	106,16	28	-	106,16	70
71	220	42	223	79,62	36	-	127,4	26	207	-	72
73	380	70	95,54	70,77	42	191,1	-	52	223	-	74
75	660	38	111,46	63,69	38	-	159,24	80	-	127,4	76
77	220	44	127,4	57,9	32	175,16	-	66	95,54	-	78
79	380	52	143,3	53,08	64	-	53,08	-	111,46	-	80
81	660	42	159,2	-	68	159,2	-	22	-	159,24	82
83	220	78	175,16	-	-	-	57,9	16	127,4	-	84
85	380	46	191,1	159,24	50	143,3	-	42	-	53,08	86
87	660	38	207	127,4	28	127,4	63,69	25	143,3	-	88
89	380	44	223	106,16	70	-	-	28	-	57,9	90
91	220	50	95,54	91	66	111,46	70,77	80	159,2	-	92
93	660	54	111,46	79,62	54	-	79,62	35	175,16	-	94
95	220	66	127,4	70,77	50	95,54	-	44	-	63,69	96
97	380	70	143,3	63,69	20	-	91	65	191,1	-	98
99	660	28	159,2	57,9	55	223	-	45	207	-	100

Задача 6 (нечетные варианты). К трехфазному трансформатору с номинальной мощностью $S_{ном}$ и номинальными напряжениями первичной $U_{ном1}$ и вторичной $U_{ном2}$ обмоток присоединена активная нагрузка P_2 при коэффициенте мощности cosφ.

Определить:

1) номинальные токи в обмотках $I_{ном1}$ и $I_{ном2}$;
2) коэффициент нагрузки трансформатора $k_н$;
3) токи в обмотках I_1 и I_2при фактической нагрузке;
4) суммарные потери мощности Σ P при номинальной нагрузке;
5) коэффициент полезного действия трансформатора при фактической нагрузке. Данные для своего варианта взять из таблицы 6.10. Недостающие величины взять из табл. 1.1.

Каково назначение замкнутого стального магнитопровода в трансформаторе? Почему магнитопровод должен иметь минимальный воздушный зазор и выполнятся не сплошным, а из отдельных стальных листов, изолированных друг от друга лаком?

Указание. См. решение типового примера 8.

Таблица 6.10

Номер варианта	$S_{ном}$	$U_{ном1}$	$U_{ном2}$	P_2	Cosφ
-	кВ·А	кВ	кВ	кВт	-
1	20	6,3	0,4	14	0,85

3	30	6,3	0,4	22	0,88
5	50	10	0,4	42	0,9
7	100	6,3	0,525	84	0,93
9	100	10	0,525	76	0,92
11	100	35	0,525	82	0,86
13	160	6,0	0,4	150	1,0
15	100	6,0	0,23	80	0,9
17	40	6,0	0,23	35	0,95
19	63	10	0,23	56	1,0
21	180	6,3	0,525	170	0,87
23	320	6,3	0,525	282	0,91
25	320	10	0,525	278	0,88
27	1000	6,3	0,69	860	0,94
29	1000	10	0,69	780	0,92
31	25	10	0,4	18	1,0
33	40	10	0,4	32	0,9
35	63	10	0,4	48	0,88
37	250	10	0,69	232	0,92
39	160	10	0,69	128	0,95
41	100	35	0,4	88	1,0
43	780	10	0,525	660	0,9
45	320	6,3	0,69	242	0,94
47	250	6,3	0,69	242	1,0
49	200	6,3	0,69	168	0,88
51	160	6,3	0,69	144	0,92
53	180	6,0	0,69	162	0,9
55	75	6,0	0,69	58	0,85
57	50	6,0	0,69	42	0,86
59	1600	10,5	0,69	1480	0,92
61	630	10,5	0,69	572	0,94
63	400	10,5	0,69	348	0,92
65	650	10,5	0,525	490	0,9
67	520	10,5	0,525	460	0,85
69	320	10,5	0,525	282	0,86
71	188	10,5	0,525	164	0,9
73	160	6,0	0,4	148	1,0
79	1000	10	0,69	850	0,95
75	160	10	0,1	125	0,85
77	180	10	0,525	164	0,96

81	160	6,0	0,4	150	1,0
83	100	6,0	0,23	80	0,9
85	250	10	0,4	200	0,85
87	400	10	0,4	350	0,92
89	630	10	0,69	554	0,88
91	40	6,0	0,23	35	1,0
93	1600	10	0,4	1400	0,93
95	63	10	0,23	56	1,0
97	630	10	0,4	520	0,9
99	75	6,0	069	52	0,82

Задача 7 (варианты четные). Для питания пониженным напряжений цепей управления электродвигателями на пульте установлен однофазный двухобмоточный трансформатор номинальной мощности $S_{ном}$. Номинальные напряжения обмоток $U_{ном1}$ и $U_{ном2}$; номинальные токи в обмотках $I_{ном1}$ и $I_{ном2}$. Коэффициент трансформации равен К. Числа витков обмоток ω_1 и ω_2. Магнитный поток в магнитопроводе $Ф_м$. Частота тока в сети f = 50 Гц. Трансформатор работает с минимальной нагрузкой. Потерями в трансформаторе можно пренебречь. Используя данные трансформатора, указанные в табл. 7.11, определить все неизвестные величины, отмеченные прочерками в таблице вариантов. Начертить схему включения такого трансформатора в сеть. К вторичной обмотке присоединить нагрузку в виде обычного резистора $R_н$. Для включения и отключения нагрузки предусмотреть рубильник, а для защиты сетей от токов короткого замыкания включить в цепь обеих обмоток предохранители. Данные для своего варианта взять из табл. 7.11.

Указание. См. решение типового примера 9.

Таблица 7.11

Номер варианта	$S_{ном}$	$U_{ном1}$	$U_{ном2}$	$I_{ном1}$	$I_{ном2}$	ω_1	ω_2	К	$Ф_м$
-	кВ·А	кВ	кВ	А	А	Вит	Вит	-	Вб
2	-	380	-	1,43	-	-	-	15,8	0,005
4	-	220	24	-	33,4	192	-	-	-
6	1600	-	12	-	-	770	-	31,6	-
8	-	127	-	4,72	25	-	108	-	-
10	3200	380	36	-	-	-	-	-	0,025
12	-	220	24	3,64	-	-	-	-	0,005
14	500	-	-	1,0	-	750	54	-	-
16	-	220	-	-	20,8	400	22	-	-
18	250	500	-	-	-	-	-	20,8	0,0015
20	-	-	12	3,2	-	3000	-	41,6	-
22	400	-	12	-	-	-	-	18,3	0,02
24	-	-	36	1,0	-	-	-	13,9	0,003

26	-	380	-	4,2	-	-	-	-	0,002
28	600	220	-	-	-	4970	-	6,12	-
30	-	-	24	-	25	573	-	-	0,001
32	-	500	-	-	13,9	-	-	13,9	0,003
34	100	-	24	-	-	-	30	15,8	-
36	-	-	24	0,5	10,4	-	-	-	0,0018
38	-	380	12	-	133	-	-	31,6	-
40	800	-	-	3,64	-	-	22	9,18	-
42	-	380	-	1,43	-	-	-	15,8	0,005
44	-	220	24	-	33,4	198	-	-	-
46	1600		12	-	-	770	-	31,6	-
48	-	-	-	4,72	25	-	108	-	-
50	3200	127	36	-	-	-	-	-	0,025
52	-	380	24	3,64	-	-	-	-	0,005
54	500	220	-	1,0	-	750	54	-	-
56	-	-	-	-	20,8	400	22	-	-
58	250	220	-	-	-	-	-	20,8	0,0015
60	-	500	12	3,2	-	3000	-	41,6	-
62	400	-	12	-	-	-	-	18,3	0,02
64	-	-	36	1,0	-	-	-	13,9	0,003
66	-	380	-	4,2	-	-	24,4	-	0,002
68	600	220	-	-	-	4970	-	6,12	-
70	-	-	24	-	25	573	-	-	0,001
72	-	500	-	-	13,9	-	-	13,9	0,003
74	100	-	24	-	-	-	30	15,8	-
76	-	-	24	0,5	10,4	-	-	-	0,0018
78	-	380	12	-	133	-	-	31,6	-
80	800	-	-	3,64	-	-	22	9,18	-
82	-	220	24	-	33,4	198	-	-	-
84	-	127	-	4,72	25	-	108	-	-
86	-	220	24	3,64	-	-	-	-	0,005
88	-	220	-	-	20,8	400	22	-	-
90	-	-	12	3,2	-	3000	-	41,6	-
92	-	-	36	1,0	-	-	-	13,9	0,003
94	600	220	-	-	-	4970	-	6,12	-
96	-	-	24	-	25	573	-	-	0,001
98	100	-	24	-	-	-	30	15,8	-
100	-	380	-	1,43	-	-	-	15,8	0,005

Задача 8 (0-100). В таблице 8.12 приведены номинальные данные асинхронных электродвигателей с короткозамкнутым ротором серии 4А, А, АО, но номинальное напряжение $U_{ном}$= 380 В.

Используя номинальные данные двигателей определить:

- номинальную мощность P_2;
- синхронную скорость поля статора n_1;
- номинальную скорость ротора $n_{н2}$;
- номинальное скольжение $S_н$;
- номинальный критический и пусковой моменты $M_н$, $M_к$, $M_п$;
- номинальный и пусковой токи $I_н$, $I_п$;
- активную, реактивную и полную мощности, потребляемые из сети P,Q,S;
- суммарные потери в двигателе Σ P;
- номинальный и критический моменты при запущенном напряжении сети U - $M_н$, $M_к$;
- расшифровать условное обозначение двигателя.

Какие процессы происходят в асинхронном электродвигателе при увеличении нагрузки на его валу? Почему при этом возрастает потребляемый двигателем ток?

Таблица 8.12

Номер варианта	Тип двигателя	$P_н$	$n_н$	$\eta_н$	Cosφ	$\frac{I_{пуск}}{I_н}$	$\frac{M_{пуск}}{MI_н}$	$\frac{M_К}{M_н}$	$U^!$
-	-	кВт	об/мин	%	-	-	-	-	В
1	А2-61-2	17	2900	88	0,88	7,0	1,2	2,2	300
2	4А100S2У3	4	2880	86	0,89	7,5	2,0	2,2	320
3	А2-62-2	22	2900	89	0,88	7,0	1,1	2,2	300
4	4А100L2У3	5,5	2880	87	0,91	7,5	2,0	2,2	320
5	А2-71-2	30	2900	90	0,9	7,0	1,1	2,2	300
6	4А112М2СУ3	7,5	2900	87	0,88	7,5	2,0	2,2	300
7	А2-72-2	40	2900	90,5	0,9	7,0	1,0	2,2	320
8	4А132М2СУ3	11	2900	88	0,9	7,5	1,6	2,2	300
9	А2-81-2	55	2900	91	0,9	7,0	1,0	2,2	320
10	4А80А4У3	1,1	1400	75	0,81	5,0	2,0	2,2	300
11	А2-61-4	13	1450	88,5	0,88	7,0	2,0	1,0	320
12	4А90L4У3	2,2	1400	80	0,83	6,0	2,0	2,2	320
13	А2-91-4	75	1470	93	0,89	7,0	1,1	2,0	300
14	4А100S4У3	3,0	1425	82	0,83	6,5	2,0	2,2	300
15	А2-92-4	100	1470	93,5	0,9	7,0	1,1	2,0	320
16	4А100L4У3	4,0	1425	84	0,84	6,5	2,2	2,2	300
17	А2-61-6	10	965	87	0,86	7,0	1,2	1,0	320
18	4А112М4СУ1	5,5	1450	85	0,85	7,0	2,0	2,2	300
19	А2-61-8	7,5	725	85	0,78	6,0	1,2	1,7	320
20	4А132М4СУ1	11	1450	87	0,87	7,5	2,0	2,2	320
21	А2-62-8	10	725	87	0,79	7,0	1,2	1,7	300
22	4АР160S4У3	15	1465	86	0,83	7,5	2,0	2,2	320
23	А2-71-8	13	725	87,5	0,82	7,0	1,1	1,7	300

24	4АР160М4У3	18,5	1465	88	0,87	7,5	2,0	2,2	320
25	А2-72-8	17	725	88,5	0,82	7,0	1,1	1,7	300
26	4АР180S4У3	22	1460	89	0,87	7,5	2,0	2,2	300
27	АО2-11-2	0,8	2815	78	0,86	7,0	1,9	2,0	320
28	4АР180М4У3	30	1460	90	0,87	7,5	2,0	2,2	300
29	АО2-12-2	1,1	2815	79,5	0,87	7,0	1,9	2,2	320
30	4А250S4У3	75	1480	93	0,90	7,5	1,2	2,2	300
31	АО2-21-2	1,5	2860	80,5	0,88	7,0	1,8	2,2	320
32	4А250М4У3	90	1480	93	0,91	7,5	1,2	2,2	320
33	АО2-22-2	2,2	2860	83	0,89	7,0	1,8	2,2	300
34	4АН250М4У3	90	1475	93	0,89	6,5	1,2	2,2	300
35	АО2-31-2	3,0	2880	84,5	0,89	7,0	1,7	2,2	320
36	4А100L6У3	2,2	950	81	0,73	5,5	2,0	2,0	300
37	АО2-32-2	4,0	2880	85,5	0,89	7,0	1,7	2,2	320
38	4АР160S6У3	11	975	85	0,83	7,0	2,0	2,2	300
39	АО2-41-2	5,5	2900	86	0,89	7,0	1,6	2,2	320
40	4АР160М6У3	15	975	87	0,83	7,0	2,0	2,2	320
41	АО2-42-2	7,5	2910	87	0,89	7,0	1,6	2,2	300
42	4АР180М6У3	18,5	970	87	0,80	6,5	2,0	2,2	320
43	АО2-41-8	2,2	720	79,5	0,69	6,0	1,2	1,7	300
44	4А250S6У3	45	985	92	0,89	6,5	1,2	2,0	320
45	АО2-42-8	3,0	720	80	0,7	6,0	1,2	1,7	320
46	4А250М6У3	55	985	92	0,89	7,0	1,2	2,0	300
47	АО2-51-8	4,0	725	84	0,71	6,0	1,2	1,7	300
48	4АН250М6У3	75	985	93	0,87	7,5	1,2	2,5	320
49	АО2-81-10	17	580	88	0,77	6,5	1,1	1,7	300
50	4А100L8У3	1,5	725	74	0,65	6,5	1,6	1,7	320
51	А2-61-2	17	2900	88	0,88	7,0	1,2	2,2	300
52	4А100S2У3	4	2880	86	0,89	7,5	2,0	2,2	320
53	А2-62-2	22	2900	89	0,88	7,0	1,1	2,2	300
54	4А100L2У3	5,5	2880	87	0,91	7,5	2,0	2,2	320
55	А2-71-2	30	2900	90	0,9	7,0	1,1	2,2	300
56	4А112М2СУ3	7,5	2900	87	0,88	7,5	2,0	2,2	300
57	А2-72-2	40	2900	90,5	0,9	7,0	1,0	2,2	320
58	4А132М2СУ3	11	2900	88	0,9	7,5	1,6	2,2	300
59	А2-81-2	55	2900	91	0,9	7,0	1,0	2,2	320
60	4А80А4У3	1,1	1400	75	0,81	5,0	2,0	2,2	300
61	А2-61-4	13	1450	88,5	0,88	7,0	2,0	1,0	320
62	4А90L4У3	2,2	1400	80	0,83	6,0	2,0	2,2	320
63	А2-91-4	75	1470	93	0,89	7,0	1,1	2,0	300
64	4А100S4У3	3,0	1425	82	0,83	6,5	2,0	2,2	300
65	А2-92-4	100	1470	93,5	0,9	7,0	1,1	2,0	320
66	4А100L4У3	4,0	1425	84	0,84	6,5	2,2	2,2	300

67	А2-61-6	10	965	87	0,86	7,0	1,2	1,0	320
68	4А112М4СУ1	5,5	1450	85	0,85	7,0	2,0	2,2	300
69	А2-61-8	7,5	725	85	0,78	6,0	1,2	1,7	320
70	4А132М4СУ1	11	1450	87	0,87	7,5	2,0	2,2	320
71	А2-62-8	10	725	87	0,79	7,0	1,2	1,7	300
72	4АР160S4У3	15	1465	86	0,83	7,0	2,0	2,2	320
73	А2-71-8	13	725	87,5	0,82	7,0	1,1	1,7	300
74	4АР160М4У3	18,5	1465	88	0,87	7,5	2,0	2,2	320
75	А2-72-8	17	725	88,5	0,82	7,0	1,1	1,7	300
76	4АР180S4У3	22	160	89	0,87	7,5	2,0	2,2	300
77	АО2-11-2	0,8	2815	78	0,86	7,0	1,9	2,0	320
78	4АР180М4У3	30	1460	90	0,87	7,5	2,0	2,2	300
79	АО2-12-2	1,1	2815	79,5	0,87	7,0	1,9	2,2	320
80	4А250S4У3	75	1480	93	0,90	7,5	1,2	2,2	300
81	АО2-21-2	1,5	2860	80,5	0,88	1,8	1,8	2,2	320
82	4А250М4У3	90	1480	93	0,91	1,2	1,2	2,2	320
83	АО2-22-2	2,2	2860	83	0,89	1,8	1,8	2,2	300
84	4АН250М4У3	90	1475	93	0,89	1,2	1,2	2,2	300
85	АО2-31-2	3,0	2880	84,5	0,89	1,7	1,7	2,2	320
86	4А100L6У3	2,2	950	81	0,73	2,0	2,0	2,0	300
87	АО2-32-2	4,0	2880	85,5	0,89	1,7	1,7	2,2	320
88	4АР160S6У3	11	975	85	0,83	2,0	2,0	2,2	300
89	АО2-41-2	5,5	2900	86	0,89	1,6	1,6	2,2	320
90	4АР160М6У3	15	975	87	0,83	2,0	2,0	2,2	320
91	АО2-42-2	7,5	2910	87	0,89	1,6	1,6	2,2	300
92	4АР180М6У3	18,5	970	87	0,80	2,0	2,0	2,2	320
93	АО2-41-8	2,2	720	79,5	0,69	1,2	1,2	1,7	300
94	4А250S6У3	45	985	92	0,89	6,5	1,2	2,0	320
95	АО2-42-8	3,0	720	80	0,7	6,0	1,2	1,7	320
96	4А250М6У3	55	985	92	089	7,0	1,2	2,0	300
97	АО2-51-8	4,0	725	84	0,71	6,0	1,2	1,7	300
98	4АН250М6У3	75	985	93	0,87	7,5	1,2	2,5	320
99	АО2-81-10	17	580	88	0,77	6,5	1,1	1,7	300
100	4А100L8У3	1,5	725	74	0,65	6,5	1,6	1,7	320

СОДЕРЖАНИЕ

1. Ведение **3**

2. Общие методические указания **4**

3. Литература **5**

4. Примерный тематический план **6**

5. Программа **7**

6. Методические указания к выполнению контрольной работы № 1 **16**

7. Номера вариантов и задач для контрольной работы № 1 **33**
8. Контрольная работа № 1 **34**