

УЧРЕЖДЕНИЕ ОБРАЗОВАНИЯ  
«МОГИЛЕВСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ПОЛИТЕХНИЧЕСКИЙ КОЛЛЕДЖ»

УТВЕРЖДАЮ

Директор колледжа

\_\_\_\_\_ С.Н.Козлов

29.08.2025

## **ЭЛЕКТРОТЕХНИКА С ОСНОВАМИ ЭЛЕКТРОНИКИ**

МЕТОДИЧЕСКИЕ РЕКОМЕНДАЦИИ  
ПО ИЗУЧЕНИЮ УЧЕБНОГО ПРЕДМЕТА,  
ЗАДАНИЯ НА ДОМАШНЮЮ КОНТРОЛЬНУЮ РАБОТУ № 1  
ДЛЯ УЧАЩИХСЯ ЗАОЧНОЙ ФОРМЫ ПОЛУЧЕНИЯ  
ОБРАЗОВАНИЯ ПО СПЕЦИАЛЬНОСТЯМ  
5-04-0714-07 «ТЕХНИЧЕСКАЯ ЭКСПЛУАТАЦИЯ  
ОБОРУДОВАНИЯ И ТЕХНОЛОГИЯ СВАРОЧНОГО  
ПРОИЗВОДСТВА», 5-04-0714-01 «ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЕ  
ОБЕСПЕЧЕНИЕ МАШИНОСТРОИТЕЛЬНОГО ПРОИЗВОДСТВА»

Автор: Васеко Ю.В., преподаватель электротехнических предметов учреждения образования «Могилевский государственный политехнический колледж», первой квалификационной категории

Рецензент: Комоза Т.Ф., преподаватель электротехнических предметов учреждения образования «Могилевский государственный политехнический колледж», высшей квалификационной категории

Разработано на основе учебной программы по учебному предмету профессионального компонента учебного плана учреждения образования по специальностям 5-04-0714-07 «Техническая эксплуатация оборудования и технология сварочного производства», 5-04-0714-01 «Технологическое обеспечение машиностроительного производства» для реализации образовательной программы среднего специального образования, обеспечивающей получение квалификации специалиста со средним специальным образованием, утвержденной директором колледжа 29.08 2025.

Обсуждено и одобрено на заседании  
цикловой комиссии электротехнических предметов

Протокол № \_\_\_\_\_ от \_\_\_\_\_

Председатель цикловой комиссии

\_\_\_\_\_ Т.Ф.Комоза

## Пояснительная записка

Учебной программой учебного предмета «Электротехника с основами электроники» предусматривается изучение процессов, происходящих в электрических цепях постоянного и переменного тока; устройства и принципа действия электроизмерительных приборов, электромагнитных аппаратов, электрических машин и их практического применения; устройства и принципа действия электронных, фотоэлектронных и полупроводниковых приборов.

Для закрепления и углубления теоретических знаний учащихся учебной программой предусматривается проведение лабораторных и практических занятий.

В результате изучения учебного предмета учащиеся должны знать на уровне представления:

- физические принципы действия основных электрических и электронных приборов;
- классификацию электроизмерительных приборов;
- условные обозначения электротехнических величин и приборов в соответствии с требованиями стандартов;
- основные единицы измерения электрических величин;
- основные схемы электроснабжения промышленных предприятий;

знать на уровне понимания:

- основные законы электротехники;
- закономерности построения электрических схем;
- назначение и классификацию электроприводов промышленного оборудования;

- технические способы и средства, обеспечивающие электробезопасность;

уметь:

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

## **Общие методические рекомендации по выполнению домашней контрольной работы № 1**

Одной из основных форм самостоятельной учебной деятельности учащихся заочной формы получения образования является выполнение домашней контрольной работы. Домашняя контрольная работа включает в себя 100 вариантов, каждый из которых определяется по двум последним цифрам шифра учащегося в таблице 15.

Вариант включает в себя один теоретический вопрос и четыре задачи.

При выполнении домашней контрольной работы необходимо руководствоваться следующими требованиями:

- домашняя контрольная работа должна быть выполнена и сдана на проверку в установленный учебным графиком срок;
- кроме учебников и учебных пособий следует обязательно ознакомиться с дополнительной литературой, объяснить теоретические положения на практических примерах из дополнительной литературы или на фактах работы конкретных организаций;
- решение задач должно иметь объяснение последовательности выполняемых действий и обоснованные выводы. Задачи без пояснений будут считаться нерешенными;
- все графики и векторные диаграммы необходимо выполнять в масштабе. На осях координат должны быть указаны откладываемые значения и единицы их измерения. Для выполнения схем и графиков следует пользоваться бумагой в клетку (миллиметровкой) в соответствии с требованиями ГОСТ, приведенными в таблице 1;
- в начале домашней контрольной работы указывается номер варианта;
- перед ответом на теоретический вопрос должна быть приведена его формулировка, а перед решением задачи – ее условие;
- домашняя контрольная работа должна быть аккуратно оформлена, написана разборчивым почерком, ее страницы должны быть пронумерованы, иметь поля для замечаний рецензента; в конце работы ставится дата и подпись учащегося;
- объем домашней контрольной работы – приблизительно 24 страницы школьной тетради;
- в конце работы приводится список используемых источников, оформленный в соответствии с требованиями СТУ СМК 01-32-2019 (автор, название, место издания, издательство, год издания);

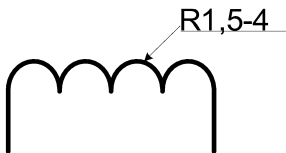
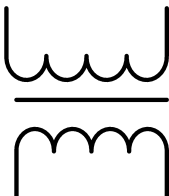
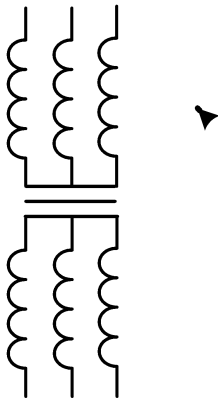
- выполненную работу учащийся предоставляет на рецензирование в заочное отделение.

Домашняя контрольная работа с рецензией и выставленной отметкой возвращается учащемуся.

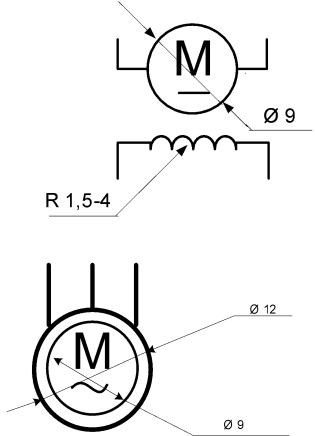
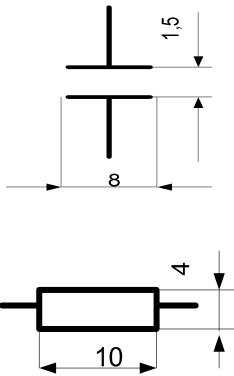
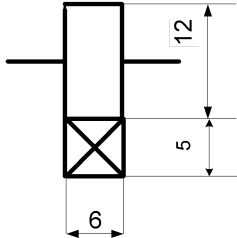
Домашняя контрольная работа, которая оценена отметкой «не зачтено» подлежит доработке и повторному рецензированию.

Домашняя контрольная работа, которая оценена отметкой «зачтено» и в которой устранены недостатки и ошибки, отмеченные при их рецензировании, предъявляются учащимся преподавателю учебного предмета до начала экзамена.

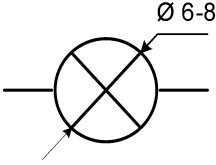
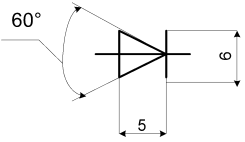
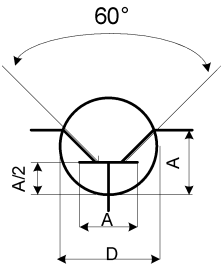
Таблица 1 – Условные графические обозначения электротехнических устройств

| Наименование                                                         | Обозначение                                                                          | Позиционные обозначения |
|----------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------|
| Катушка, индуктивности, обмотка                                      |   | L                       |
| Трансформатор однофазный двухобмоточный с ферромагнитным сердечником |  | TV                      |
| Трансформатор трехфазный с ферромагнитным магнитопроводом            |  | TV                      |

## Продолжение таблицы 1

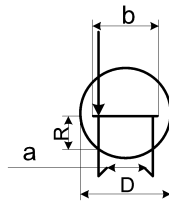
|                                                                                                                      |                                                                                      |                   |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------|-------------------|
| <p>Двигатель постоянного тока с независимым возбуждением</p> <p>Асинхронный двигатель с короткозамкнутым ротором</p> |    | <p>M</p> <p>M</p> |
| <p>Конденсатор</p> <p>Резистор</p>                                                                                   |   | <p>C</p> <p>R</p> |
| <p>Предохранитель</p>                                                                                                |  | <p>FU</p>         |
| <p>Катушка реле времени</p>                                                                                          |  | <p>KT</p>         |

## Продолжение таблицы 1

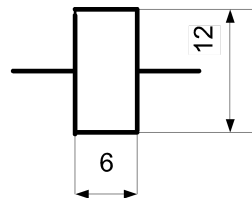
|                                                                           |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                            |    |    |    |   |   |    |           |   |   |   |     |   |   |   |   |                     |
|---------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|----|----|---|---|----|-----------|---|---|---|-----|---|---|---|---|---------------------|
| <p>Лампа накаливания и<br/>(осветительная<br/>сигнальная)</p> <p>Диод</p> |  <table border="1" data-bbox="770 609 967 1191"> <tr><td>a</td><td>5</td><td>6</td></tr> <tr><td>b</td><td>4</td><td>5</td></tr> <tr><td>R</td><td>5</td><td>6</td></tr> <tr><td>d</td><td>1,5</td><td>2</td></tr> <tr><td>c</td><td>5</td><td>6</td></tr> </table>  | a  | 5  | 6  | b | 4 | 5  | R         | 5 | 6 | d | 1,5 | 2 | c | 5 | 6 | <p>HL</p> <p>VD</p> |
| a                                                                         | 5                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                          | 6  |    |    |   |   |    |           |   |   |   |     |   |   |   |   |                     |
| b                                                                         | 4                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                          | 5  |    |    |   |   |    |           |   |   |   |     |   |   |   |   |                     |
| R                                                                         | 5                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                          | 6  |    |    |   |   |    |           |   |   |   |     |   |   |   |   |                     |
| d                                                                         | 1,5                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                        | 2  |    |    |   |   |    |           |   |   |   |     |   |   |   |   |                     |
| c                                                                         | 5                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                          | 6  |    |    |   |   |    |           |   |   |   |     |   |   |   |   |                     |
| <p>Транзистор</p>                                                         | <table border="1" data-bbox="770 1592 987 1825"> <tr><td>D</td><td>12</td><td>14</td></tr> <tr><td>A</td><td>9</td><td>11</td></tr> </table>                                                                                                                                                                                                            | D  | 12 | 14 | A | 9 | 11 | <p>VT</p> |   |   |   |     |   |   |   |   |                     |
| D                                                                         | 12                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                         | 14 |    |    |   |   |    |           |   |   |   |     |   |   |   |   |                     |
| A                                                                         | 9                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                          | 11 |    |    |   |   |    |           |   |   |   |     |   |   |   |   |                     |

Полевой транзистор

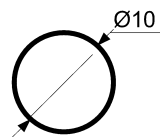
|   |    |    |    |
|---|----|----|----|
| D | 10 | 12 | 14 |
| a | 5  | 6  | 7  |
| b | 7  | 8  | 9  |



Привод электромагнитный  
(катушка реле, магнитных  
пускателей)



Прибор измерительный:  
показывающий



VT

K

PA

### **Критерии оценки домашней контрольной работы № 1**

Домашняя контрольная работа оценивается отметкой «зачтено», если правильно выполнено 75% задания, но имеются недоработки, а именно:

- замечания по ответу на теоретический вопрос;
- ход решения задачи верный, но имеется математическая ошибка в одной задаче или отсутствует ответ и вывод;
- имеются нарушения в оформлении работы.

Домашняя контрольная работа оценивается отметкой «не зачтено», если:

- работа выполнена не в соответствии с шифром;
- ответ на теоретический вопрос дан не по существу и неверно решена одна задача;
- отсутствуют обоснования формул с пояснением расчетов задач;
- неправильно                   решены                   обе                   задачи.

## **Учебная программа учебного предмета**

### **Введение**

Электрическая энергия, ее свойства, особенности и применение. Основные этапы развития отечественной электроэнергетики. Развитие электроэнергетики республики. Роль электрификации в развитии передовых технологий, автоматизации технологических процессов

Краткое содержание учебного предмета «Электротехника с основами электроники». Значение электротехнической подготовки специалистов среднего звена для освоения новых технологий современного производства

Литература: [7], с.5-12

### **Раздел 1 Электротехника**

#### **Тема 1.1 Электрическое поле**

Краткие сведения о строении вещества. Электрический заряд. Электрическое поле. Характеристики электрического поля: напряженность, потенциал, электрическое напряжение. Проводники, диэлектрики и полупроводники. Их краткая характеристика и практическое применение

Диэлектрик в электрическом поле, поляризация диэлектрика, пробой диэлектрика

Электрическая емкость и единицы ее измерения. Конденсаторы. Соединение конденсаторов. Энергия электрического поля конденсатора

Литература: [6], §§ 1.1-1.8

#### **Тема 1.2 Электрические цепи постоянного тока**

Общие сведения об электрических цепях. Основные элементы электрических цепей: источники и приемники электрической энергии. Электродвижущая сила (ЭДС) источника и напряжение на его зажимах. Электрический ток, его определение, величина, направление, плотность

Законы Ома для участка цепи и полной цепи. Электрическое сопротивление и проводимость. Зависимость сопротивления проводника от его размеров, материала и температуры. Работа и мощность электрической цепи

Нагревание проводов. Закон Джоуля-Ленца. Плавкие

предохранители

Понятие о режимах работы электрических цепей (номинальный, холостого хода, короткого замыкания). Последовательное, параллельное и смешанное соединение резисторов. Законы Кирхгофа

Литература: [6], §§ 2.1-2.13

### **Тема 1.3 Электромагнетизм**

Магнитное поле электрического тока. Магнитная индукция как характеристика интенсивности магнитного поля. Правило буравчика. Магнитный поток. Магнитная проницаемость. Напряженность магнитного поля

Электромагнитная сила, действующая на проводник с током в магнитном поле. Правило левой руки. Взаимодействие параллельных проводников с токами. Принцип действия электромагнитного реле

Ферромагнитные материалы, их намагничивание и перемагничивание. Магнитомягкие и магнитотвердые материалы

Явление электромагнитной индукции. ЭДС, возникающая в проводнике при перемещении его в магнитном поле. ЭДС, наводимая в контуре, катушке. Правило правой руки. Принцип Ленца. Явление самоиндукции. ЭДС самоиндукции. Индуктивность. Вихревые токи и их практическое значение

Литература: [6], §§ 3.1-3.17

### **Тема 1.4 Электрические машины постоянного тока**

Классификация машин постоянного тока по назначению и способу возбуждения. Обратимость машин постоянного тока. Устройство и принцип действия машин постоянного тока. Генераторы постоянного тока. Характеристики, параллельная работа генераторов. Сварочные генераторы

Электродвигатели постоянного тока. Пуск, регулирование частоты вращения, реверсирование двигателей постоянного тока. Применение двигателей постоянного тока.

Литература: [6], §§ 9.1-9.12

### **Тема 1.5 Электрические измерения**

Электроизмерительные приборы: их назначение и роль в развитии науки и техники. Классификация электроизмерительных приборов. Условное графическое обозначение электроизмерительных

приборов.

Измерительные механизмы приборов магнитоэлектрической, электромагнитной, электродинамической, индукционной и других систем.

Измерения тока, напряжения и мощности. Включение амперметра, вольтметра, ваттметра в электрическую цепь. Расширение пределов измерения амперметров и вольтметров. Погрешности измерений.

Измерение электрического сопротивления

Литература: [6], §§ 11.1-11.17

## **Тема 1.6 Однофазные электрические цепи переменного тока**

Переменный электрический ток. Период, частота, угловая частота. Максимальное, мгновенное и действующее значение переменного тока и напряжения. Фаза и сдвиг фаз. Синусоидальное и векторное изображения переменных величин

Цепь переменного тока с активным сопротивлением. Закон Ома. Активная мощность. Векторная диаграмма

Цепь переменного тока с индуктивностью. Векторная диаграмма. Реактивное индуктивное сопротивление. Реактивная мощность

Цепь переменного тока с емкостью. Емкостное сопротивление. Реактивная емкостная мощность. Векторная диаграмма

Неразветвленная цепь переменного тока с активным сопротивлением, индуктивностью и емкостью. Векторная диаграмма. Треугольники сопротивлений и мощностей. Резонанс напряжений

Разветвленная цепь переменного тока. Векторная диаграмма токов. Резонанс токов. Коэффициент мощности, его значение

Литература: [6], §§ 4.1-4.6, 5.1-5.12

## **Тема 1.7 Трехфазные электрические цепи**

Трехфазная ЭДС и трехфазный ток. Преимущества трехфазной системы. Соединение обмоток генератора и потребителей энергии звездой. Фазные и линейные напряжения и токи. Соотношения между фазными и линейными напряжениями и токами

Трехпроводная и четырехпроводная цепь. Значение нулевого провода

Соединение обмоток генератора и потребителей энергии треугольником. Соотношение между фазными и линейными напряжениями и токами. Мощность трехфазной цепи при равномерной

и неравномерной нагрузке

Литература: [6], §§ 6.1-6.7

## **Тема 1.8 Трансформаторы**

Назначение и применение трансформаторов. Устройство, принцип действия однофазного трансформатора: принципиальная схема, ЭДС обмоток

Режим холостого хода трансформатора, определение коэффициента трансформации и потерь мощности в стали трансформатора

Работа трансформатора под нагрузкой. Трехфазный трансформатор. Потери энергии и КПД трансформатора. Опыт короткого замыкания. Автотрансформаторы, измерительные трансформаторы, сварочные трансформаторы.

Литература: [6], §§ 7.1-7.7

## **Тема 1.9 Электрические машины переменного тока**

Назначение машин переменного тока, их классификация и применение

Трехфазный асинхронный двигатель, его устройство. Получение вращающегося магнитного поля. Зависимость частоты вращения магнитного поля от частоты тока в обмотке статора и числа пар полюсов. Принцип действия трехфазного асинхронного электродвигателя, скольжение. Способы пуска в ход трехфазных асинхронных двигателей с короткозамкнутым и фазным роторами, рабочие характеристики асинхронного двигателя

Регулирование частоты вращения и реверс асинхронного двигателя.

Понятие об однофазном асинхронном электродвигателе. Синхронные машины

Литература: [6], §§ 8.1-8.14

## **Тема 1.10 Электропривод и аппаратура управления**

Понятие об электроприводе. Режимы работы электрических приводов. Аппаратура управления и защиты. Электромагнитный пускатель, его назначение, устройство, схема, принцип действия. Техника безопасности при работе с электроустановками

Литература: [6], §§ 10.1-10.5, 13.1-13.4

## **Тема 1.11 Передача и распределение электрической энергии**

Схемы электроснабжения потребителей электрической энергии. Назначение и устройство трансформаторных подстанций и распределительных пунктов. Электрические сети и линии, их классификация

Литература: [6], §§ 12.1-12.14

## **Раздел 2 Основы электроники**

### **Тема 2.1 Полупроводниковые приборы**

Полупроводниковые приборы, их достоинства и недостатки. Виды примесей и проводимостей в полупроводниках. Электронно-дырочный p-n-переход и его свойства. Вольтамперная характеристика p-n-перехода.

Полупроводниковый диод, его устройство, принцип действия и применение. Понятие о пробое диода, виды пробоя. Максимальное обратное напряжение и допустимый ток

Биполярный транзистор. Устройство, принцип действия и применение. Схемы включения транзисторов. Статические входные и выходные характеристики транзистора

Полевой транзистор

Тиристоры, их устройство, свойства, применение. Вольт-амперная характеристика

Условно-графические обозначения и буквенно-цифровые обозначения полупроводниковых приборов

Литература: [6], §§ 16.1-16.10

### **Тема 2.2 Фотоэлектронные приборы**

Общие понятия о фотоэлектронных явлениях (фотоэлектронная эмиссия, фотопроводимость полупроводников, фотогальванический эффект)

Устройство и принцип действия вакуумного, газонаполненного и полупроводникового фотоэлемента. Краткие сведения о фотодиодах, фототранзисторах, солнечных фотоэлементах. Области применения, условное обозначение фотоэлектронных приборов

Литература: [6], §§ 17.1-17.6

### **Тема 2.3 Электронные выпрямители**

Основные сведения о выпрямителях. Структурная схема выпрямителя. Схемы выпрямителей однофазного тока: однополупериодная и двухполупериодные, мостовая

Трехфазные выпрямители

Соотношение между переменными и выпрямленными токами и напряжениями для различных схем выпрямления. Сглаживающие фильтры. Управляемые выпрямители

Литература: [6], §§ 18.1-18.6

## **Тема 2.4 Электронные усилители**

Назначение и классификация усилителей. Основные технические показатели и характеристики усилителей. Усилительный каскад, назначение элементов схемы, принцип действия

Литература: [6], §§ 19.1-19.6

## **Тема 2.5 Электронные генераторы и приборы отображения информации**

Назначение и классификация электронных генераторов. Электронный генератор синусоидальных напряжений. Генераторы пилообразного напряжения. Схемы, принцип действия, применение. Мультивибраторы

Электронно-лучевая трубка, ее назначение, применение, устройство

Электронный осциллограф. Устройство, назначение

Литература: [6], §§ 20.1-20.9

## **Тема 2.6 Интегральные схемы микроэлектроники**

Общие сведения. Понятие о гибридных, толстопленочных, тонкопленочных, полупроводниковых интегральных микросхемах. Классификация, маркировка и применение микросхем

Логические элементы «ИЛИ», «И», «НЕ»

Литература: [6], §§ 21.1-21.9

**Список используемых источников**

1 ГОСТ 2.728-74. ЕСКД. Обозначения условные графические в схемах: Резисторы, конденсаторы.

2 ГОСТ 2.730-73. ЕСКД. Обозначения условные графические в схемах: Приборы полупроводниковые.

3 ГОСТ 2.731-81. ЕСКД. Обозначения условные графические в схемах: Приборы электровакуумные.

4 ГОСТ 2.732-68. ЕСКД. Обозначения условные графические в схемах: Источники света.

5 ГОСТ 2.747-68. ЕСКД. Обозначения условные графические в схемах: Размеры условных графических обозначений.

6 Данилов, И. А. Общая электротехника с основами электроники / И.А. Данилов, П.М. Иванов. - Москва, 2000.

7 Усс, Л.В. Общая электротехника с основами электроники / Л.В.Усс, А.С. Красько, Г.С. Климович. - Минск, 1990.

**Примерный перечень вопросов к экзамену и  
дифференцированному зачету по учебному предмету  
«Электротехника с основами электроники»**

- 1 Энергия, ее свойства, производство и передача электрической энергии. Роль электротехнической подготовки для техника-технолога
- 2 Электрическое поле, его графическое изображение. Характеристики: потенциал, напряженность, напряжение
- 3 Конденсаторы и их свойства
- 4 Последовательное, параллельное и смешанное соединение конденсаторов. Энергия электрического поля конденсатора
- 5 Электрическая цепь постоянного тока и ее элементы
- 6 Электрический ток. Направление, сила и плотность тока
- 7 Электродвижущая сила источника
- 8 Закон Ома для участка и всей цепи
- 9 Электрическое сопротивление и проводимость проводника. Удельное сопротивление. Зависимость сопротивления от температуры
- 10 Работа и мощность электрического тока. Тепловое действие тока
- 11 Последовательное соединение резисторов
- 12 Параллельное соединение резисторов
- 13 Смешанное соединение резисторов
- 14 Законы Кирхгофа, их применение для расчета сложных цепей
- 15 Магнитное поле электрического тока, его графическое изображение. Характеристики магнитного поля: магнитодвижущая сила, напряженность, магнитная индукция, магнитный поток, магнитная проницаемость
- 16 Проводник с током в магнитном поле. Электромагнитная сила. Правило левой руки
- 17 Электромагнитная индукция. Электродвижущая сила, индуцированная в проводнике. Правило правой руки, правило Ленца
- 18 Самоиндукция и индуктивность
- 19 Взаимоиндукция и взаимная индуктивность
- 20 Измерительные приборы. Классификация приборов и их условное обозначение
- 21 Погрешности измерений. Условные обозначения на шкалах приборов. Класс точности
- 22 Приборы магнитоэлектрической системы
- 23 Приборы электромагнитной системы
- 24 Приборы электродинамической системы
- 25 Приборы индукционной системы

26 Измерение тока. Расширение предела измерения амперметра в цепях постоянного и переменного тока

27 Измерение напряжения. Расширение предела измерения вольтметра в цепях постоянного и переменного тока

28 Измерение мощности

29 Измерение электрической энергии

30 Измерение сопротивления

31 Измерение неэлектрических величин

32 Переменный ток. Получение синусоидального однофазного тока. Основные характеристики переменного тока: мгновенные, амплитудные и действующие величины, период, частота

33 Векторная и волновая диаграммы переменного синусоидального тока. Параметры переменного тока: фаза, начальная фаза, угловая частота

34 Цепь однофазного переменного тока с активным сопротивлением. Активная мощность

35 Цепь однофазного переменного тока с индуктивным сопротивлением. Реактивная мощность

36 Цепь однофазного переменного тока с активным и индуктивным сопротивлениями

37 Цепь однофазного переменного тока с емкостным сопротивлением.

38 Цепь однофазного переменного тока с последовательным соединением активного, индуктивного и емкостного сопротивлений

39 Резонанс напряжений. Условие резонанса. Векторная диаграмма

40 Цепь однофазного переменного тока с параллельным соединением активного, индуктивного и емкостного сопротивлений

41 Резонанс токов. Условие резонанса

42 Трехфазная система электрических цепей. Преимущества трехфазного тока

43 Соединение обмоток генератора и потребителей звездой. Мощность трехфазной системы

44 Соединение обмоток генератора и потребителей треугольником. Мощность трехфазной системы

45 Устройство, принцип работы однофазного трансформатора. Параметры трансформатора

46 Режимы работы трансформатора. Параметры, определяемые в режимах холостого хода и короткого замыкания

47 Рабочий режим однофазного трансформатора. Внешняя характеристика трансформатора, коэффициент нагрузки, коэффициент

полезного действия

48 Трансформаторы тока и напряжения

49 Автотрансформатор

50 Электрическая машина постоянного тока, основные ее элементы, их назначение. Принцип работы генератора и двигателя. Обратимость машины постоянного тока

51 Генераторы постоянного тока с независимым и параллельным возбуждением: схемы включения, характеристики

52 Генераторы постоянного тока со смешанным возбуждением: схема включения, характеристики

53 Классификация двигателей постоянного тока: назначение, схемы включения. Вращающий момент, скорость вращения, полезная мощность и КПД

54 Механические характеристики двигателей постоянного тока. Регулирование скорости вращения и реверсирование. Пуск двигателей постоянного тока

55 Назначение, классификация и область применения машин переменного тока. Устройство асинхронных электродвигателей. Получение и частота вращения магнитного поля статора

56 Принцип работы асинхронного двигателя с короткозамкнутым ротором. Скольжение, частота вращения ротора, вращающий момент и его зависимость от скольжения и напряжения

57 Пуск трехфазных асинхронных двигателей с короткозамкнутым ротором. Механические характеристики и способы регулирования скорости вращения. Схема пуска, реверсирование

58 Асинхронный двигатель с фазным ротором: устройство, назначение. Схемы пуска и реверса. Механические и рабочие характеристики

59 Синхронный генератор и двигатель. Их устройство, принцип действия и область применения. Пуск синхронного двигателя. Механическая характеристика

60 Понятие об электроприводе. Режимы работы электропривода

61 Электрические аппараты ручного управления электродвигателем

62 Электрические аппараты автоматического управления электродвигателем

63 Аппараты защиты

64 Передача и распределение электрической энергии. Классификация электрических сетей, схемы электроснабжения промышленных предприятий.

65 Техника безопасности при работе с электроустановками

- 66 Электронно-лучевая трубка
- 67 Проводимость полупроводников
- 68 Полупроводниковые диоды
- 69 Транзисторы р-п-р типа
- 70 Транзисторы п-р-п типа
- 71 Тиристоры
- 72 Электронный осциллограф
- 73 Фотоэлектронные приборы с внешним фотоэффектом (ФЭ), фотоэлектронные усилители (ФЭУ)
- 74 Фотоэлектронные приборы с внутренним фотоэффектом: фотодиод (ФД), фототранзистор (ФТР)
- 75 Схема выпрямления переменного тока однополупериодная
- 76 Схема выпрямления переменного тока двухполупериодная
- 77 Схема выпрямления переменного тока трехфазная.
- 78 Сглаживающие фильтры
- 79 Усилители: классификация, параметры, искажения
- 80 Транзисторные усилители
- 81 Характеристики и параметры усилителей
- 82 Усилительные каскады с ОЭ, ОБ, ОК
- 83 Электронные генераторы синусоидальных колебаний
- 84 Генераторы пилообразного напряжения
- 85 Электронный осциллограф
- 86 Логические элементы «ИЛИ», «И», «НЕ»
- 87 Классификация, маркировка и применение микросхем
- 88 Пленочные, полупроводниковые и гибридные микросхемы

## Методические рекомендации по решению задач

### Методические рекомендации по решению задачи 1

Решение этой задачи требует знания закона Ома для всей цепи и ее участков, первого закона Кирхгофа и методики определения эквивалентного сопротивления цепи при смешанном соединении резисторов.

Пример 1 -Для схемы, приведенной на (рисунке 1, а), определить эквивалентное сопротивление цепи  $R_{AB}$ , токи в каждом резисторе и напряжение  $U_{AB}$ , приложенное к цепи. Заданы сопротивления резисторов и ток  $I_4$  в резисторе  $R_4$ . Определить: мощность потребления всей цепью; расход электрической энергии за 8 часов работы.

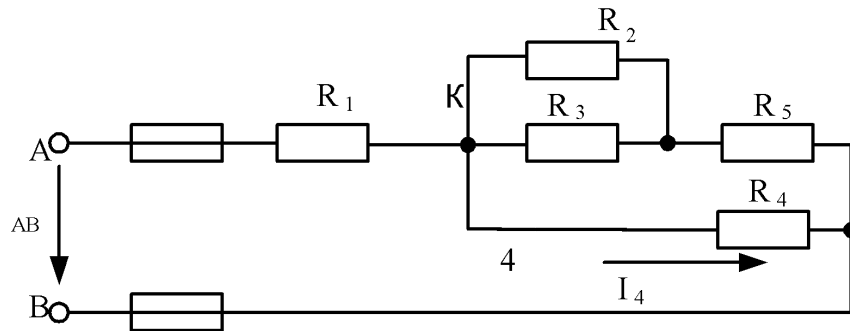


Рисунок 1, а

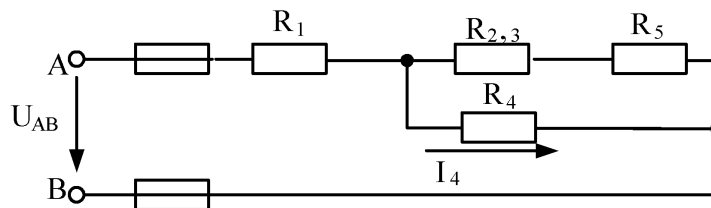


Рисунок 1, б

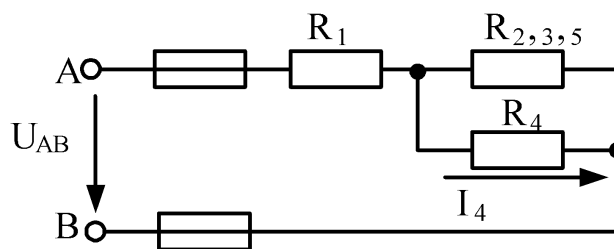


Рисунок 1, в

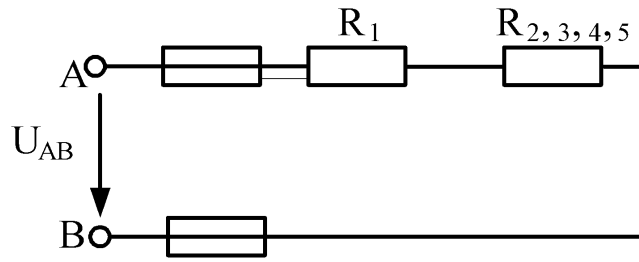


Рисунок 1, г

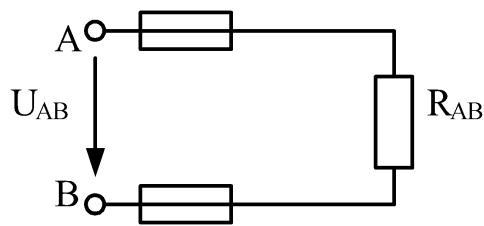


Рисунок 1, д

Решение:

Проводим поэтапное решение, предварительно обозначив стрелкой направление тока в каждом резисторе. Индекс тока должен соответствовать номеру резистора, по которому он проходит.

Общее сопротивление разветвления  $R_2, R_3$ . Резисторы соединены параллельно, поэтому

$$R_{2,3} = \frac{R_2 R_3}{R_2 + R_3} = \frac{15 \times 10}{15 + 10} = 60 \text{ м}$$

Теперь схема цепи принимает вид, показанный на (рисунке 1, б).

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

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

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

Соответствующая схема приведена на рисунке 1, в.

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

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

Теперь схема цепи имеет вид, приведенный на рисунке 1, г.

Эквивалентное сопротивление всей цепи, представленной на рисунке 1, д:

$$R_{AB} = R_1 + R_{2,3,4,5} = 5 + 5 = 10 \text{ Ом}$$

Зная силу тока  $I_4$ , находим напряжение на резисторе  $R_4$ :

$$U_4 = I_4 R_4 = 5 \times 10 = 50 \text{ В}$$

Это же напряжение приложено к резисторам  $R_{2,3,5}$  (рисунок 1, б). Поэтому ток в резисторе  $R_5$ :

$$I_5 = \frac{U_4}{R_{2,3} + R_5} = \frac{50}{6 + 4} = 5 \text{ А}$$

Падение напряжения на резисторе  $R_5$ :

$$U_5 = I_5 R_5 = 20 \text{ В}$$

Поэтому напряжение на резисторах  $R_{2,3}$ :

$$U_{2,3} = U_4 - U_5 = 50 - 20 = 30 \text{ В}$$

Токи в резисторах  $R_2$  и  $R_3$ :

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

Применяя первый закон Кирхгофа для узла К (рисунок 1, а), находим ток в резисторе  $R_1$ :

$$I_1 = I_2 + I_3 + I_4 = 2 + 3 + 5 = 10 \text{ А}$$

Падение напряжения на резисторе  $R_1$ :

$$U_1 = I_1 R_1 = 10 \times 5 = 50 \text{ В}$$

Напряжение  $U_{AB}$ , приложенное ко всей цепи:

$$U_{AB} = I_1 R_{AB} = 10 \times 10 = 100 \text{ В} \quad U_{AB} = I_1 R_{AB} = 10 \times 10 = 100 \text{ В}$$

или

$$U_{AB} = U_1 + U_4 = 50 + 50 = 100$$

Проверим правильность вычисления токов, используя первый закон Кирхгофа:

$$I = I_2 + I_3 + I_4 = 4 + 6 + 10 = 20 \text{ А}$$

Однако,

$$I = U_{AB} / R_{2,3,4,5} = 100 / 5 = 20 \text{ А}$$

$$I = U_{AB} / R_{2,3,4,5} = 100 / 5 = 20 \text{ А}$$

Таким образом, задача решена верно.

Определяем мощность потребления всей цепи:

$$P = U_{AB} \times I = 100 \times 20 = 2000 \text{ Вт}$$

Определяем расход электрической энергии за 8 часов работы:

$$W = P \times t = 8 \times 2000 = 16000 \text{ Вт} \times \text{ч}$$

## Методические рекомендации по решению задачи 2

Эта задача относится к неразветвленным цепям переменного тока. Перед ее решением ознакомьтесь с методикой построения векторных диаграмм и рассмотрите типовой пример 2.

Пример 2 - Активное сопротивление катушки  $R_k=6$  Ом, индуктивное  $x_L$ - 10 Ом. Последовательно с катушкой включено активное сопротивление  $R=2$  Ом и конденсатор сопротивлением  $X_c=4$  Ом (рисунок 2). 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. Начертить в масштабе векторную диаграмму цепи.

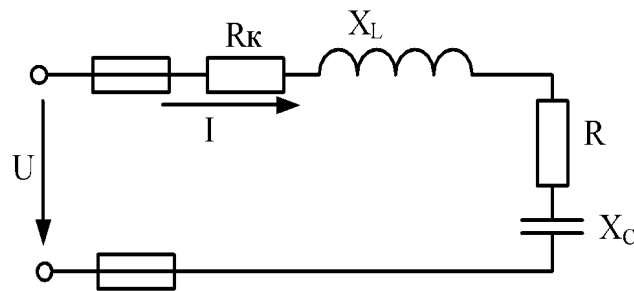


Рисунок 2

Решение:

Полное сопротивление цепи:

$$Z = \sqrt{(R_k + R)^2 + (X_L - X_C)^2} = \sqrt{(6 + 2)^2 + (10 - 4)^2} = 10 \text{ Ом}$$

$$\text{Ток цепи: } I = U/Z = 50/10 = 5 \text{ А. } I = U/Z = 50/10 = 5 \text{ А.}$$

Определяем коэффициент мощности цепи:

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

По таблицам Брадиса находим  $\phi=36^\circ 50'$ . Угол сдвига фаз  $\phi$

находим по синусу во избежание потери знака угла (косинус является четной функцией).

Активная мощность цепи:

$$P = I^2(R_k + R) = 5^2(6 + 2) = 200 \text{ Вт}$$

Или

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

Здесь

$$\cos \varphi = \frac{R_k + R}{Z} = \frac{6+2}{10} = 0,8$$

$$\cos \varphi = \frac{R_k + R}{Z} = \frac{6+2}{10} = 0,8$$

Реактивная мощность цепи:

$$Q = I^2(X_L - X_C) = 5^2(10 - 4) = 150 \text{ Вар}$$

Полная мощность цепи:

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

Падения напряжения на сопротивлениях цепи:

$$U_{R_k} = I \times R_k = 5 \times 6 = 30 \text{ В},$$

$$U_L = I \times X_L = 5 \times 10 = 50 \text{ В},$$

$$U_R = I \times R = 5 \times 2 = 10 \text{ В},$$

$$U_C = I \times X_C = 5 \times 4 = 20 \text{ В}.$$

Построение векторной диаграммы начинаем с выбора масштаба для тока и напряжения. Задаемся:

- масштабом по току  $m_I = 1 \text{ А/см}$ ;
- масштабом по напряжению  $m_U = 10 \text{ В/см}$ .

Построение векторной диаграммы (рисунок 3) начинаем с вектора тока, который откладываем по горизонтали в масштабе. Длина вектора:

$$l_{\vec{I}} = \frac{5A}{1A/\text{см}} = 5 \text{ см}$$

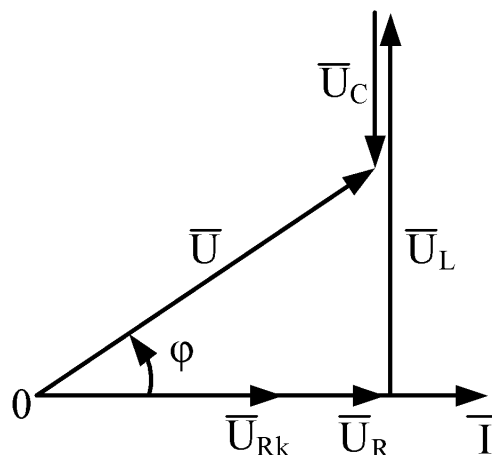
Вдоль вектора тока откладываем векторы падений напряжения на активных сопротивлениях  $\vec{U}_{Rk}$   $\vec{U}_{Rk}$  и  $\vec{U}_R$   $\vec{U}_R$ . Длина векторов соответственно:

$$l_{\vec{U}_{Rk}} = \frac{30V}{10V/\text{см}} = 3 \text{ см}; l_{\vec{U}_R} = \frac{10V}{10V/\text{см}} = 1 \text{ см}$$

Из конца вектора  $\vec{U}_R$  откладываем в сторону опережения вектора тока на  $90^\circ$  вектор падения напряжения  $\vec{U}_L$  на индуктивном сопротивлении длиной:  $\frac{50V}{10V/\text{см}} = 5 \text{ см}$ .  $\frac{50V}{10V/\text{см}} = 5 \text{ см}$ . Из конца вектора  $\vec{U}_L$ , откладываем в сторону отставания от вектора тока на  $90^\circ$  вектор падения напряжения на конденсаторе  $\vec{U}_C$  длиной  $\frac{20V}{10V/\text{см}} = 2 \text{ см}$ .  $\frac{20V}{10V/\text{см}} = 2 \text{ см}$ . Геометрическая сумма векторов  $\vec{U}_{Rk}$ ,  $\vec{U}_R$ ,  $\vec{U}_L$  и  $\vec{U}_C$  сравна полному напряжению  $U$ , приложенному к цепи.

$$l_{\vec{U}} = l_{\vec{U}_{Rk}} + l_{\vec{U}_R} + (l_{\vec{U}_L} + (-l_{\vec{U}_C})) = 5 \text{ см},$$

$$U = m_U \times l_{\vec{U}} = 10 \times 5 = 50 \text{ В}.$$





### Методические рекомендации по решению задачи 3

Решение задачи 3 требует знания соединения источников и потребителей в звезду, соотношений между линейными и фазными величинами при таких соединениях, а также умения строить векторные диаграммы при симметричной и несимметричной нагрузках. Для пояснения общей методики решения задач на трехфазные цепи, включая построение векторных диаграмм, рассмотрен типовой пример 3.

Пример 3 -В трехфазную четырехпроводную сеть с действующим значением линейного напряжения  $U_{\text{ном}}=380\text{В}$  и частотой  $f=50\text{ Гц}$  подключен приемник энергии, соединенный по схеме «звезда» с разными по характеру сопротивлениями: в фазу А – конденсатор с емкостным сопротивлением  $x_A=10\text{Ом}$ ; в фазу В – активное сопротивление  $R_B=8\text{ Ом}$  и индуктивное  $x_B=6\text{Ом}$ , в фазу С – активное сопротивление  $R_C=5\text{Ом}$ . Определить действующие значения линейных и фазных токов, начертить в масштабе векторную диаграмму цепи и определить полную мощность, потребляемую нагрузкой.

Схема цепи дана на рисунке 4.

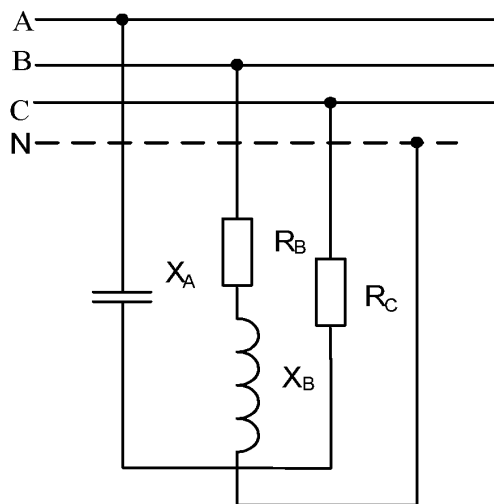


Рисунок 4

Решение:

Фазное напряжение:

$$U_{\phi} = U_{\text{л}}/\sqrt{3} = 380/3 = 220 \text{ В}$$

Полное сопротивление фазы А:

30

$$Z_A = X_A = 10 \text{ Ом} = 10 \text{ Ом}$$

Полное сопротивление фазы В:

$$Z_B = \sqrt{R_B^2 + X_B^2} = \sqrt{8^2 + 6^2} = 10 \text{ Ом}$$

Полное сопротивление фазы С:

$$Z_C = R_C = 5 \text{ Ом} = 5 \text{ Ом}$$

Фазные токи:

$$I_A = U_{\Phi} / Z_A = 220 / 10 = 22 \text{ А},$$

$$I_B = U_{\Phi} / Z_B = 220 / 10 = 22 \text{ А},$$

$$I_C = U_{\Phi} / Z_C = 220 / 5 = 44 \text{ А}.$$

Активная мощность:

в фазе А:  $P_A = I_A^2 R_A = I_A^2 R_A = 22^2 \times 0 = 0 \text{ Вт},$

в фазе В:  $P_B = I_B^2 R_B = I_B^2 R_B = 22^2 \times 8 = 3872 \text{ Вт},$

в фазе С:  $P_C = I_C^2 R_C = I_C^2 R_C = 44^2 \times 5 = 9680 \text{ Вт}.$

Полная активная мощность, потребляемая нагрузкой

$$P_H = P_A + P_B + P_C = 0 + 3872 + 9680 = 13552 \text{ Вт}$$

Реактивная мощность:

в фазе А:  $Q_A = -I_A^2 X_C - I_A^2 X_C = -22^2 \times 10 = -4840 \text{ Вар},$

в фазе В:  $Q_B = I_B^2 X_L = I_B^2 X_L = 22^2 \times 6 = 2904 \text{ Вар},$

в фазе С:  $Q_C = 0 \text{ Вар}.$

Полная реактивная мощность, потребляемая нагрузкой:

$$Q_H = Q_A + Q_A + Q_B + Q_C = - - 4840 + 2904 + 0 = -1936 - 1936 \text{ Вар}$$

Полная мощность нагрузки:

$$S = \sqrt{P_H^2 + Q_H^2} \sqrt{P_H^2 + Q_H^2} = \sqrt{13552^2 + (-1936)^2} \\ \sqrt{13552^2 + (-1936)^2} = 13689 \text{ ВА}$$

Для построения векторной диаграммы выбираем:

- масштаб по току:  $m_I = 10 \text{ А/см}$ ;

- масштаб по напряжению:  $m_U = 100 \text{ В/см}$ .

Построение диаграммы начинаем с векторов фазных напряжений  $U_A$ ,  $U_B$ ,  $U_C$  (рисунок 5), располагая их под углом  $120^\circ$  друг относительно друга.

Вектор тока  $I_A$  опережает вектор напряжения  $U_A$  на угол  $90^\circ$  (емкостная нагрузка); вектор тока  $I_B$  отстает от вектора напряжения  $U_B$  на угол  $\phi_B$  (индуктивная нагрузка), который определяется из выражения:

$$\cos \phi_B = \frac{R_B}{Z_B} = \frac{8}{\sqrt{8^2 + 6^2}} = 0,8,$$

$$\phi_B = 36^\circ 50' \quad \phi_B = 36^\circ 50'$$

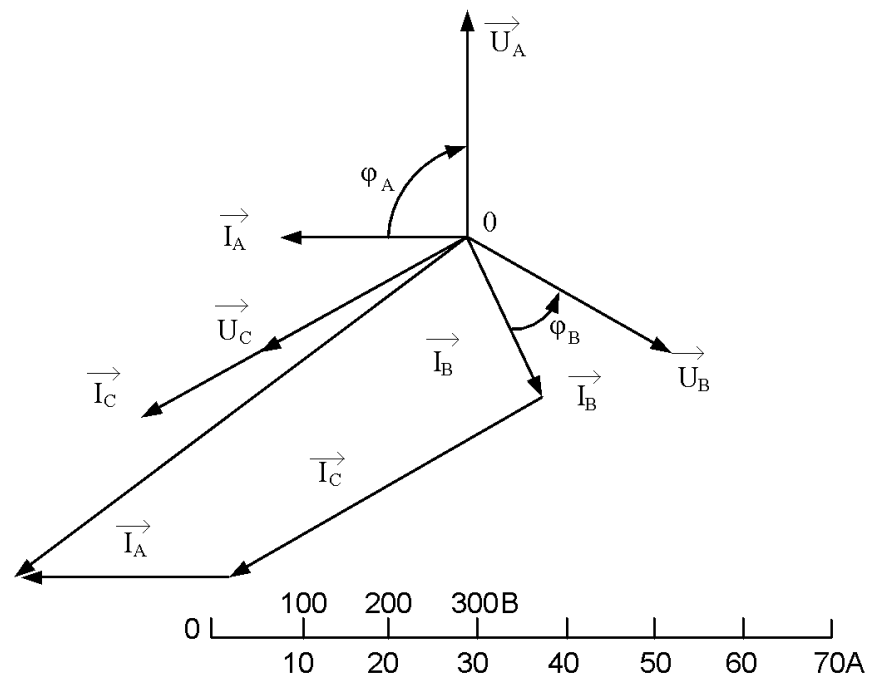


Рисунок 5

Вектор тока  $\vec{I}_C$  совпадает по направлению с вектором напряжения  $\vec{U}_C$ , ток в нулевом проводе равен геометрической сумме трех фазных токов. Измеряя длину вектора тока  $\vec{I}_0$ , которая оказалась равной 6,8 см, находим ток  $I_0 = 68 \text{ A}$ .

$$I_0 = m_I \times l_{\vec{I}_0} = 10 \times 6,8 = 68 \text{ A}$$

### Методические рекомендации по решению задачи 4

Решение задачи 4 требует знания соединения источников и потребителей в треугольник, соотношений между линейными и фазными величинами при таких соединениях, а также умения строить векторные диаграммы при симметричной и несимметричной нагрузках. Для пояснения общей методики решения задач на трехфазные цепи, включая построение векторных диаграмм, рассмотрен типовой пример 4.

Пример 4 - В трехфазную сеть включили треугольником несимметричную нагрузку (рисунок 6): 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  $R_{CA}=10$  Ом. 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:

Фазные токи и углы сдвига фаз:

$$I_{AB} = U_{ном}/X_{AB} = 220/10 = 22 \text{ A}; \quad \varphi_{AB} = -90^\circ,$$

$$I_{BC} = \frac{U_{ном}}{Z_{BC}} = \frac{U_{ном}}{\sqrt{R_{BC}^2 + X_{BC}^2}} = \frac{220}{\sqrt{4^2 + 3^2}} = 44 \text{ A},$$

$$\cos \varphi_{BC} = R_{BC}/Z_{BC} = 4/5 = 0,8.$$

Отсюда угол  $\varphi_{BC} = 36^\circ 50'$   $\varphi_{BC} = 36^\circ 50'$ .

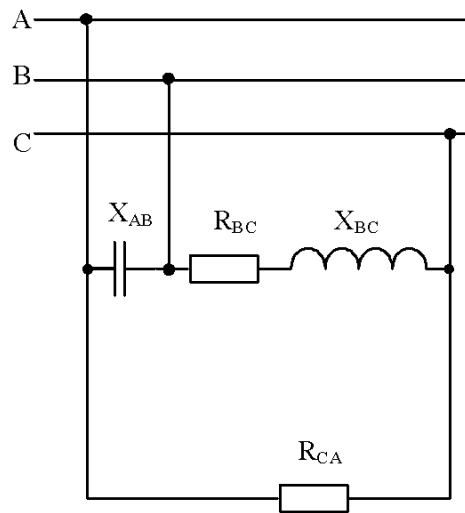


Рисунок 6

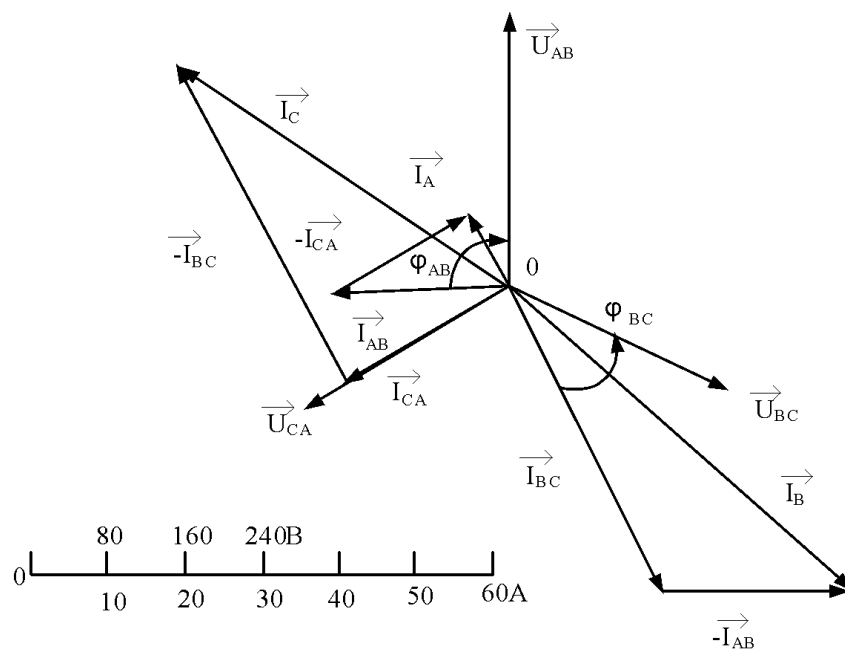


Рисунок 7

$$I_{CA} = U_{\text{ном}} / R_{CA} = 220 / 10 = 22 \text{ A}; \quad \varphi_{CA} = 0.$$

Для построения векторной диаграммы задаемся масштабом по току: 1 см – 10 А, масштабом по напряжению: 1 см – 80 В.

Затем в принятом масштабе откладываем векторы фазных (они же

линейные) напряжений  $U_{AB}$ ,  $U_{BC}$ , и  $U_{CA}$  под углом  $120^\circ$  друг относительно друга (рисунок 7). Под углом  $\varphi_{AB} - 90^\circ$  к вектору напряжения  $U_{AB}$  откладываем вектор тока  $I_{AB}$ ; 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 совпадает с вектором напряжения  $U_{CA}$ . Затем строим векторы линейных токов на основании известных уравнений.

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

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

$$I_A = 11 \text{ A}, \quad I_B = 57 \text{ A}, \quad I_C = 47 \text{ A}$$

## Методические рекомендации к решению задачи 5

Данная задача относится к расчету параметров трехфазного асинхронного двигателя с короткозамкнутым или с фазным ротором.

Пример 5 -Трехфазный асинхронный электродвигатель с короткозамкнутым ротором типа 4AP16086УЗ имеет номинальные данные: мощность  $P_{\text{ном}}=11$  кВт; напряжение  $U_{\text{ном}}=380\text{В}$ ; частота вращения ротора  $n_2=975$  об/мин; к. п. д.  $\eta_{\text{ном}}=0,855$ ; коэффициент мощности  $\cos\varphi_{\text{ном}}=0,83$ ; кратность пускового тока  $I_{\text{п}}/I_{\text{ном}}=7$ ; кратность пускового момента  $M_{\text{п}}/M_{\text{ном}}=2,0$ ; перегрузочная способность  $M_{\text{max}}/M_{\text{ном}}=2,2$ . 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;
- 7) пусковой момент при снижении напряжения сети на 20%.

Расшифровать его условное обозначение.

В настоящее время промышленность выпускает асинхронные двигатели с короткозамкнутым ротором серии 4А мощностью от 0,06 до 400 кВт. Обозначение типа электродвигателя расшифровывается так: 4 - порядковый номер серии; А - асинхронный; Х - алюминиевая оболочка и чугунные щиты (отсутствие буквы Х означает, что корпус полностью выполнен из чугуна); В - двигатель встроен в оборудование; Н - исполнение защищенное IP23, для закрытых двигателей исполнения IP44 обозначение защиты не приводится; Р - двигатель с повышенным пусковым моментом; С - сельскохозяйственного назначения; цифра после буквенного обозначения показывает высоту оси вращения в мм (100, 112 и т. д.); буквы S, M, L - после цифр - установочные размеры по длине корпуса (S - станина самая короткая; M - промежуточная; L - самая длинная); цифра после установочного размера - число полюсов; буква У - климатическое исполнение (для умеренного климата); последняя цифра - категория размещения: 1 - для работы на открытом воздухе, 3 - для закрытых не отапливаемых помещений.

В обозначениях типов двухскоростных двигателей после установочного размера указывают через дробь оба числа полюсов, например 4A160S4/2V3. Здесь цифры 4 и 2 означают, что обмотки статора могут переключаться так, что в двигателе образуются 4 или 2

полюса.

Решение:

Мощность, потребляемая из сети:

$$P_1 = P_{\text{ном}} / \eta_{\text{ном}} = 11 / 0,855 = 12,86 \text{ кВт}$$

Номинальный момент, развиваемый двигателем:

$$M_{\text{ном}} = 9,55 \frac{P_{\text{ном}}}{n_{\text{ном}}} = 9,55 \frac{11 \times 1000}{975} = 107,7 \text{ Н} \times \text{м}$$

Максимальный и пусковой моменты:

$$M_{\text{max}} = 2,2 M_{\text{ном}} = 2,2 \times 107,7 = 237 \text{ Н} \times \text{м}$$

$$M_{\text{п}} = 2 M_{\text{ном}} = 2 \times 107,7 = 215,4 \text{ Н} \times \text{м}$$

Номинальный и пусковой токи:

$$I_{\text{ном}} = \frac{P_{\text{ном}} \times 1000}{\sqrt{3} U_{\text{ном}} \eta_{\text{ном}} \cos \varphi_{\text{ном}}} = \frac{11 \times 1000}{1,73 \times 380 \times 0,855 \times 0,83} = 23,6 \text{ А},$$

$$I_{\text{п}} = 7 \times I_{\text{ном}} = 7,0 \times 23,6 = 165 \text{ А}.$$

Скольжение:

$$S_{\text{ном}} = \frac{n_1 - n_2}{n_1} = \frac{1000 - 975}{1000} = 0,025 = 2,5\%.$$

Частота тока в роторе:

$$f_2 = f_1 \times S = 50 \times 0,025 = 1,25 \text{ Гц},$$

$$\frac{M'_{\text{п}}}{M_{\text{п}}} = \frac{(0,8 U_{\text{ном}})^2}{U_{\text{ном}}^2} = 0,64.$$

Отсюда  $M'_{\text{п}} = 0,64 M_{\text{п}} = 0,64 \times 215,4 = 138 \text{ Нм}.$

## Методические рекомендации к решению задачи 6

Данная задача относится к расчету параметров трансформаторов.

Пример 6 - Трехфазный трансформатор ТМ-63/10 имеет следующие данные: низшее напряжение  $U_2 = 400$  В, потери при холостом ходе  $P_x = 265$  Вт, потери при коротком замыкании  $P_k = 1280$  Вт, напряжение короткого замыкания  $U_k$  составляет 5,5% от номинального значения, ток холостого хода  $I_x$  составляет 2,8% от номинального значения. Определить: а) фазные напряжение  $U_\phi$  при группе соединения трансформатора  $Y/\Delta\Delta$ ; б) фазный  $n_\phi$  и линейный  $n_L$  коэффициенты трансформации; в) номинальные токи первичных и вторичных обмоток.

Решение:

Расшифровка марки трансформатора ТМ-63/10 означает: Т – трехфазный, М – масляный, 63 кВ А – номинальная мощность трансформатора, 10 кВ – напряжение на первичной обмотке.

Знак  $Y/\Delta\Delta$  означает, что первичная обмотка соединена в «звезду», вторичная – в «треугольник».

Согласно условиям задачи имеем  $U_L = 10\,000$  В.

Так как первичная обмотка соединена «звездой», напряжение на фазе первичной обмотки:

$$U_{1\phi} = U_L / \sqrt{3} \sqrt{3} = 10\,000 / 1,73 = 5780 \text{ В}$$

Из условия соединений вторичной обмотки «треугольником» имеем:

$$U_{2\phi} = U_{2L} = U_{2\text{ ном}} = 400 \text{ В}$$

Фазный коэффициент трансформации:

$$n_\phi = U_{1\phi} / U_{2\phi} = 5780 / 400 = 14,45$$

Линейный коэффициент трансформации

$$n_L = U_{1L} / U_{2L} = U_{1\text{ ном}} / U_{2\text{ ном}} = 10\,000 / 400 = 25$$

Номинальный ток в первичной обмотке  $I_{1\text{ ном}}$  определяем из соотношения:

$$S_{\text{ном}} = \sqrt{3} \sqrt{3} U_{1\text{ ном}} I_{1\text{ ном}}$$

т.е.

$$I_{1\text{ ном}} = \frac{S_{\text{ном}}}{\sqrt{3}U_{1\text{ ном}}} = \frac{63\,000}{1,73 \times 10\,000} \frac{S_{\text{ном}}}{\sqrt{3}U_{1\text{ ном}}} = \frac{63\,000}{1,73 \times 10\,000} = 3,64 \text{ А}$$

Номинальный ток вторичной обмотки при условии  $S_{2\text{ ном}} \approx \approx S_{1\text{ ном}}$ :

$$I_{2\text{ ном}} = \frac{S}{\sqrt{3}U_{2\text{ ном}}} = \frac{63\,000}{1,73 \times 400} \frac{S}{\sqrt{3}U_{2\text{ ном}}} = \frac{63\,000}{1,73 \times 400} = 91 \text{ А}$$

Абсолютное значение напряжения при коротком замыкании:

$$U_{\text{к}} = 5,5\%; U_{\text{ном}} = 0,055 \times 10\,000 = 550 \text{ В}$$

Активное сопротивление фазы при коротком замыкании:

$$R_{\phi} = P_{\text{к}} / (3 \times I_{1\text{к}}^2 I_{1\text{к}}^2) = P_{\text{к}} / (3 \times I_{1\text{ном}}^2 3 \times I_{1\text{ном}}^2) = 1280 / (3 \times 3,64^2) = 32,2 \text{ Ом.}$$

## Методические рекомендации к решению задачи 7

Данная задача относится к расчету параметров двигателя постоянного тока.

Пример 7 - На табличке-паспорте двигателя постоянного тока указаны следующие паспортные данные: тип двигателя П22, номинальный режим работы - продолжительный, номинальная мощность  $P_{\text{ном}} = 1$  кВт, номинальное напряжение  $U_{\text{ном}} = 110$  В, номинальная частота вращения  $n_{\text{ном}} = 1500$  об/мин, система возбуждения – параллельная, КПД  $\eta = 76\%$ . Кроме того, известно сопротивление цепи обмотки якоря  $R_{\text{я}} = 0,88$  Ом и обмотки возбуждения  $R_{\text{в}} = 166$  Ом.

Определить номинальный вращающий момент, мощность, потребляемую двигателем из сети, потребляемый ток, ток в обмотках якоря и возбуждения, ток в обмотке якоря при коротком замыкании (при пуске), пусковой ток и сопротивление пускового реостата при условии  $I_{\text{п}} = 2,5 I_{\text{ном}}$ , потери при холостом ходе и ток двигателя при холостом ходе.

Решение:

Номинальный вращающий момент двигателя:

$$M_{\text{ном}} = 9,55 \frac{P_{\text{ном}}}{n_{\text{ном}}} = \frac{9,55 \times 1000}{1500} = 6,36 \text{ Н м}$$

Потребляемая из сети мощность при номинальной нагрузке:

$$P_1 = \frac{P_{\text{ном}}}{\eta} = \frac{1000}{0,76} = 1315 \text{ Вт}$$

Потребляемый ток при номинальном режиме:

$$I_{\text{ном}} = P_1 / U_{\text{ном}} = 1315 / 110 = 12 \text{ А}$$

Ток обмотки возбуждения:

$$I_{\text{в}} = U_{\text{ном}} / R_{\text{в}} = 110 / 166 = 0,66 \text{ А}$$

Ток якоря при номинальном моменте на валу двигателя:

$$I_{\text{я}} = I_{\text{ном}} - I_{\text{в}} = 12 - 0,66 = 11,34 \text{ А}$$

Ток якоря, при коротком замыкании (при отключенной обмотке возбуждения или в момент пуска при отключенном пусковом реостате):

$$I_K = U_{\text{ном}} / R_{\text{я}} = 110 / 0,88 = 125 \text{ А}$$

Пусковой ток при условии  $I_{\text{п}} = 2,5 I_{\text{ном}}$ :

$$I_{\text{п}} = 2,5 I_{\text{ном}} = 2,5 \times 12 = 30 \text{ А}$$

Сопротивление пускового реостата при условии  $I_{\text{п}} = 2,5 I_{\text{ном}}$ :

$$R_{\text{п}} = U_{\text{ном}} / I_{\text{п}} - R_{\text{я}} = 110 / 30 - 0,88 = 2,78 \text{ Ом}$$

Суммарные потери двигателя:

$$\Sigma P = P_1 - P_{\text{ном}} = 1315 - 1000 = 315 \text{ Вт}$$

Электрические потери:

$$P_{\text{э}} = P_{\text{эя}} + P_{\text{эв}} = I^2 R_{\text{я}} + I_{\text{в}}^2 R_{\text{в}} + I_{\text{в}}^2 R_{\text{в}} = 11,34^2 \times 0,88 + 0,66 \times 166 = 185,4 \text{ Вт}$$

Потери магнитные и механические:

$$P_{\text{м}} + P_{\text{мх}} = \Sigma P - P_{\text{э}} = 315 - 185,4 = 129,4 \text{ Вт}$$

Так как мощность, потребляемая двигателем при холостом ходе, приближенно равна потерям в стали, в цепи возбуждения и механическим потерям, то ток холостого хода:

$$I_{\text{х}} = I_{\text{в}} + P_{\text{п}} / U_{\text{ном}} = 0,66 + 129,4 / 110 = 1,8 \text{ А}$$

## Методические рекомендации к решению задач 8,9,10,11

Данная задача относится к расчету выпрямителей переменного тока, собранных на полупроводниковых диодах. При решении задачи следует помнить, что основными параметрами полупроводниковых диодов являются допустимый ток  $I_{\text{доп}}$ , на который рассчитан данный диод, и обратное напряжение  $U_{\text{обр}}$ , которое выдерживает диод без пробоя в непроводящий период.

При составлении реальной схемы выпрямителя задаются значениями мощности потребителя  $P_d(\text{Вт})$ , получающего питание от данного выпрямителя, и выпрямленным напряжением  $U_d(\text{В})$ , при котором работает потребитель постоянного тока. Ток потребителя  $I_d = P_d / U_d$ . Сравнивая ток потребителя с допустимым током диода  $I_{\text{доп}}$ , выбирают диоды для схемы выпрямителя. Для однополупериодного выпрямителя ток через диод равен току потребителя, т. е. надо соблюдать условие

$I_{\text{доп}} \geq I_d$ . Для двухполупериодной и мостовой схем выпрямления ток через диод равен половине тока потребителя, т. е. следует соблюдать условие  $I_{\text{доп}} \geq 0,5 I_d$ . Для трехфазного выпрямителя ток через диод составляет треть тока потребителя, следовательно, необходимо, чтобы  $I_{\text{доп}} \geq 1/3 I_d$ .

Напряжение, действующее на диод в непроводящий период  $U_b$ , также зависит от той схемы выпрямления, которая применяется в конкретном случае. Так, для однополупериодного и двухполупериодного выпрямителей  $U_b = \pi U_d = 3,14 U_d$ , для мостового выпрямителя  $U_b = \pi U_d / 2 = 1,57 U_d$ , а для трехфазного выпрямителя  $U_b = 2,1 U_d$ . При выборе диода, следовательно, должно соблюдаться условие  $U_{\text{обр}} \geq U_b$ .

Рассмотрим примеры составления схем выпрямителей.

Пример 8 - Составить схему мостового выпрямителя, применив один из четырех диодов: Д218, Д222, КД202Н, Д215Б. Мощность потребителя  $P_d = 300 \text{ Вт}$ , напряжение потребителя  $U_d = 200 \text{ В}$ .

Решение:

Выбираем из таблицы 2 параметры заданных диодов.

Таблица 2 – Параметры диодов

| Тип диода | $I_{\text{доп}}, \text{А}$ | $U_{\text{обр}}, \text{В}$ | Тип диода | $I_{\text{доп}}, \text{А}$ | $U_{\text{обр}}, \text{В}$ |
|-----------|----------------------------|----------------------------|-----------|----------------------------|----------------------------|
| Д7Г       | 0,3                        | 200                        | Д231      | 10                         | 300                        |
| Д205      | 0,4                        | 400                        | Д231Б     | 5                          | 300                        |
| Д207      | 0,1                        | 200                        | Д232      | 10                         | 400                        |

Продолжение таблицы 2

| Тип диода | $I_{\text{доп}}, \text{А}$ | $U_{\text{обр}}, \text{В}$ | Тип диода | $I_{\text{доп}}, \text{А}$ | $U_{\text{обр}}, \text{В}$ |
|-----------|----------------------------|----------------------------|-----------|----------------------------|----------------------------|
| Д209      | 0,1                        | 400                        | Д232Б     | 5                          | 400                        |
| Д210      | 0,1                        | 500                        | Д233      | 10                         | 500                        |
| Д211      | 0,1                        | 600                        | Д233Б     | 5                          | 500                        |
| Д214      | 5                          | 100                        | Д234Б     | 5                          | 600                        |
| Д214А     | 10                         | 100                        | Д242      | 5                          | 100                        |
| Д214Б     | 2                          | 100                        | Д242А     | 10                         | 100                        |
| Д215      | 5                          | 200                        | Д242Б     | 2                          | 100                        |
| Д215А     | 10                         | 200                        | Д243      | 5                          | 200                        |
| Д215Б     | 2                          | 200                        | Д243А     | 10                         | 200                        |
| Д217      | 0,1                        | 800                        | 243Б      | 2                          | 200                        |
| Д218      | 0,1                        | 1000                       | Д244      | 5                          | 50                         |
| Д221      | 0,4                        | 400                        | Д244А     | 10                         | 50                         |
| Д222      | 0,4                        | 600                        | Д244Б     | 2                          | 50                         |
| Д224      | 5                          | 50                         | Д302      | 1                          | 200                        |
| Д224А     | 10                         | 50                         | Д303      | 3                          | 150                        |
| Д224Б     | 2                          | 50                         | Д304      | 3                          | 100                        |
| Д226      | 0,3                        | 400                        | Д305      | 6                          | 50                         |
| Д226А     | 0,3                        | 300                        | КД202А    | 3                          | 50                         |
|           |                            |                            | КД202Н    | 1                          | 500                        |

Ток потребителя:  $I_d = P_d / U_d = 300 / 200 = 1,5 \text{ А}$ .

Напряжение, действующее на диод в непроводящий период для мостовой схемы выпрямителя:  $U_b = 1,57 U_d = 1,57 \times 200 = 314 \text{ В}$ .

$U_{\text{обр}} > U_b > 314 \text{ В}$ . Этим условиям удовлетворяет диод КД202Н:

Выбираем диод из условий:  $I_{\text{доп}} \geq 0,5 I_d = 0,5 \cdot 1,5 = 0,75 \text{ А}$ .

$$I_{\text{доп}} = 1,0 > 0,75 \text{ А}; U_{\text{обр}} = 500 > 314 \text{ В}$$

Диоды Д218 и Д222 удовлетворяют условию по напряжению, так как 1000В и 600В больше 314В, но не подходят по допустимому току, так как 0,1А и 0,4А меньше 0,75А. Диод 215Б, наоборот, подходит по допустимому току, так как 2А > 0,75 А, но не подходит по обратному напряжению, так как 200В < 314В.

Составляем схему мостового выпрямителя (рисунок 8). В этой схеме каждый из диодов КД202Н имеет параметры:  $I_{\text{доп}} = 1 \text{ А}$ ;  $U_{\text{обр}} = 500 \text{ В}$ .

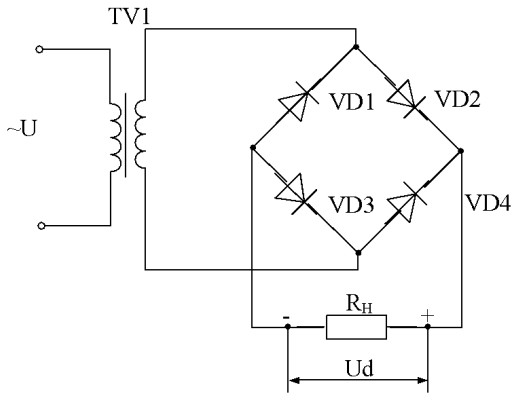


Рисунок 8

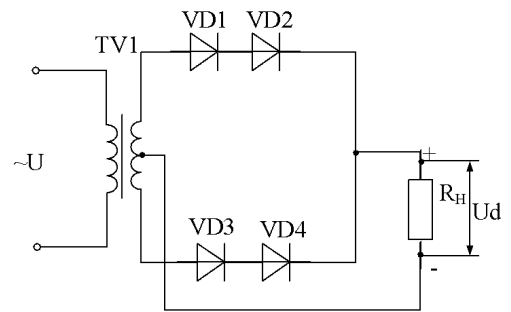


Рисунок 9

Пример 9 - Для питания постоянным током потребителя мощностью  $P_d = 250\text{Вт}$  при напряжении  $U_d = 100\text{В}$  необходимо собрать схему двухполупериодного выпрямителя, используя стандартные диоды типа Д243Б.

Решение:

Выписываем из таблицы 2 параметры диода Д243Б

$$I_{\text{доп}} = 2\text{А}; U_{\text{обр}} = 200\text{В}$$

Ток потребителя:

$$I_d = P_d / U_d = 300 / 20 = 15\text{ А}$$

Напряжение, действующее на диод в непроводящий период:

$$U_b = 3,14 U_d = 3,14 \times 100 = 314\text{ В}$$

Проверяем диод по параметрам  $I_{\text{доп}}$  и  $U_{\text{обр}}$ . Для данной схемы диод должен удовлетворять условиям  $U_{\text{обр}} > U_b$  и  $I_{\text{доп}} > 0,5I$ . В данном случае первое условие не соблюдается, так как  $200\text{В} < 314\text{В}$ , т. е.  $U_{\text{обр}} < U_b$ . Второе условие выполняется, так как  $0,5I_d = 0,5 \cdot 2,5\text{А} = 1,25\text{А} < 2\text{А}$ .

Составляем схему выпрямителя. Чтобы выполнялось условие необходимо два диода соединить последовательно, тогда  $U_{\text{обр}} = 200\text{В} \times 2 = 400\text{В} > 314\text{В}$ . Полная схема выпрямителя приведена на рисунке 9.

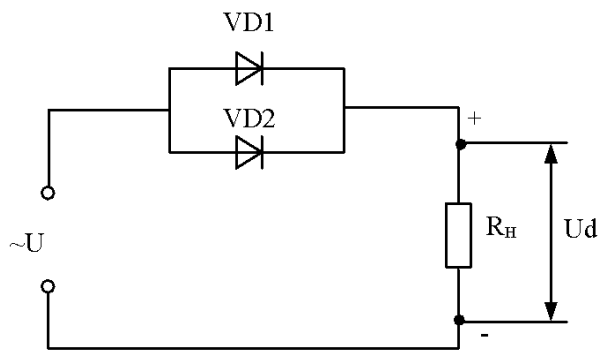


Рисунок 10

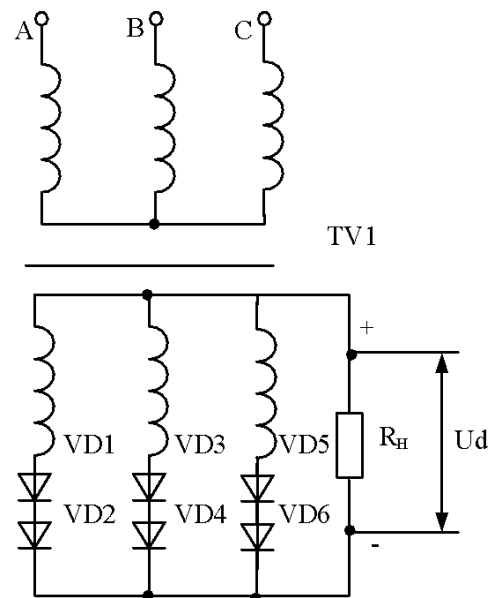


Рисунок 11

Пример 10 - Для питания постоянным током потребителя мощностью  $P_d = 300$  Вт при напряжении  $U_d = 20$  В необходимо собрать схему однополупериодного выпрямителя, используя имеющиеся стандартные диоды Д242 А.

Решение:

Выписываем из таблицы 2 параметры диода Д242А

$$I_{\text{доп}} = 10\text{А}, U_{\text{обр}} = 100\text{В}$$

Определяем ток потребителя:

$$I_d = P_d / U_d = 300 / 20 = 15\text{А}$$

Определяем напряжение, действующее на диод в непроводящий период:

$$U_b = 3,14 U_d = 3,14 \times 100 = 314\text{В}$$

Проверяем диод по параметрам  $I_{\text{доп}}$  и  $U_{\text{обр}}$ . Для данной схемы диод должен удовлетворять условиям  $U_{\text{обр}} > U_b$ ,  $I_{\text{доп}} > I_d$ . В данном случае второе условие не соблюдается, так как  $10\text{А} < 15\text{А}$ , т.е.  $I_{\text{доп}} < I_d$ . Первое условие выполняется, так как  $100\text{В} > 63\text{В}$ .

Составляем схему выпрямителя. Чтобы выполнялось условие

$I_{\text{доп}} > I_d$ , надо два диода соединить параллельно, тогда  $I_{\text{доп}} = 2 \times 10 = 20\text{А}$ ;  $20\text{А} > 15\text{А}$ . Полная схема выпрямителя приведена на рисунке 10.

Пример 11 - Для составления схемы трехфазного выпрямителя на трех диодах заданы диоды Д243. Выпрямитель должен питать

потребитель с  $U_d=150\text{В}$ . Определить допустимую мощность потребителя и пояснить порядок составления схемы выпрямителя.

Решение:

Выбираем из таблицы 2 параметры диода Д243:

$$I_{\text{доп}}=5\text{А}; U_{\text{обр}}=200\text{В}$$

Допустимая мощность потребителя. Для трехфазного выпрямителя:  $I_{\text{доп}} \geq 1/3 I_d$ , т.е.  $P_d = 3U_d I_{\text{доп}} = 3 \times 150\text{В} \times 5\text{А} = 2250\text{Вт}$ . Следовательно, для данного выпрямителя:  $P_d \geq 2250\text{Вт}$ .

Напряжение, действующее на диод в непроводящий период:

$$U_b = 2,1 \times U_d = 2,1 \times 150 = 315\text{В}$$

Составляем схему выпрямителя. Проверяем диод по условию  $U_{\text{обр}} > U_b$ . В данном случае это условие не выполняется, так как  $200\text{В} < 315\text{В}$ . Чтобы условие выполнялось, необходимо в каждом плече два диода соединить последовательно, тогда  $U_{\text{обр}} = 200\text{В} \times 2 = 400\text{В}$ ,  $400\text{В} > 315\text{В}$ .

Полная схема выпрямителя приведена на рисунке 11.

## **Методические рекомендации к ответам на теоретический вопрос**

Для правильного и качественного ответа следует изучить соответствующий материал из рекомендованной литературы. Ответ на вопрос должен быть конкретным с пояснением физической сущности работы того или иного устройства. При описании прибора или устройства следует обязательно пояснить свой ответ электрическими схемами, графиками и чертежами.

## Задания на домашнюю контрольную работу № 1 по учебному предмету «Электротехника с основами электроники»

**Задача 1.** Цепь постоянного тока содержит несколько резисторов, соединенных смешанно. Схема цепи с указанием сопротивлений резисторов приведена на соответствующем рисунке. Номер рисунка, заданные значения одного из напряжений или токов, сопротивление, приведены в таблице 3. Всюду индекс тока или напряжения совпадает с индексом резистора, по которому проходит этот ток или на котором действует это напряжение. Например, через резистор  $R_3$  проходит ток  $I_3$  и на нем действует напряжение  $U_3$ . Определить:

- эквивалентное сопротивление цепи относительно зажимов А В;
- ток в каждом резисторе и общий ток;
- напряжение на каждом резисторе и общее напряжение;
- мощность, потребляемая всей цепью;
- расход электрической энергии за 8 часов работы.

Указание. Смотрите решение типового примера 1 в методических указаниях по выполнению контрольных работ.

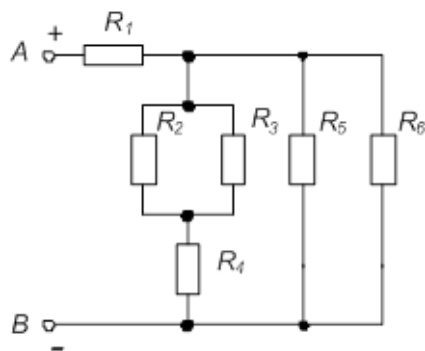


Рисунок 12

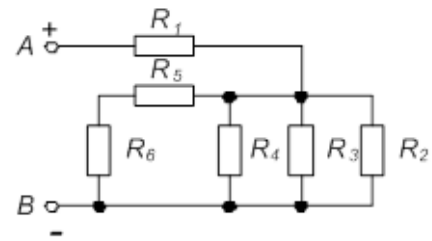


Рисунок 13

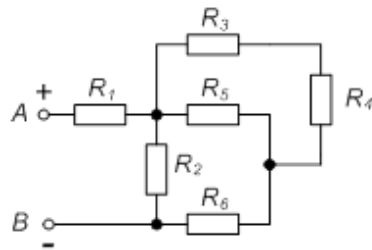


Рисунок 14

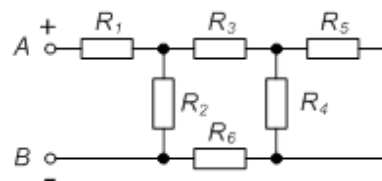


Рисунок 15

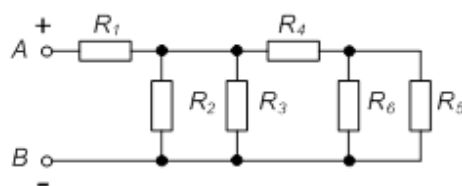


Рисунок 16

| Номер<br>варианта | Номер<br>рисунка | $R_1$ ,<br>Ом | $R_2$ ,<br>Ом | $R_3$ ,<br>Ом | $R_4$ ,<br>Ом | $R_5$ ,<br>Ом | $R_6$ ,<br>Ом | Задаваемая<br>величина |
|-------------------|------------------|---------------|---------------|---------------|---------------|---------------|---------------|------------------------|
| 01                | 12               | 2             | 4             | 12            | 3             | 6             | 6             | $U_{AB}=100\text{ В}$  |
| 02                | 13               | 4             | 2             | 6             | 4             | 10            | 2             | $U_{AB}=50\text{ В}$   |
| 03                | 14               | 4             | 15            | 10            | 5             | 10            | 4             | $I_1=12\text{ А}$      |
| 04                | 15               | 3             | 10            | 4             | 15            | 10            | 5             | $I_1=50\text{ А}$      |
| 05                | 16               | 5             | 6             | 6             | 3             | 12            | 4             | $I_5=1\text{ А}$       |
| 06                | 12               | 2             | 12            | 4             | 3             | 4             | 12            | $I_1=20\text{ А}$      |
| 07                | 13               | 2             | 3             | 6             | 4             | 2             | 2             | $I_2=2\text{ А}$       |
| 08                | 14               | 1             | 18            | 5             | 5             | 10            | 4             | $I_4=3\text{ А}$       |
| 09                | 15               | 4             | 6             | 2             | 12            | 4             | 1             | $I_2=15\text{ А}$      |
| 10                | 16               | 5             | 4             | 8             | 5             | 6             | 6             | $U_4=12\text{ В}$      |
| 11                | 12               | 1             | 6             | 6             | 9             | 8             | 8             | $U_2=30\text{ В}$      |
| 12                | 13               | 2             | 2             | 6             | 6             | 4             | 2             | $I_1=5\text{ А}$       |
| 13                | 14               | 4             | 18            | 5             | 5             | 15            | 3             | $U_{AB}=120\text{ В}$  |
| 14                | 15               | 3             | 6             | 1             | 4             | 12            | 2             | $U_2=120\text{ В}$     |
| 15                | 16               | 5             | 2             | 4             | 1             | 6             | 6             | $I_3=6\text{ А}$       |
| 16                | 12               | 2             | 8             | 8             | 2             | 6             | 6             | $I_5=10\text{ А}$      |
| 17                | 13               | 3             | 6             | 12            | 12            | 5             | 1             | $U_5=18\text{ В}$      |
| 18                | 14               | 4             | 9             | 1             | 4             | 20            | 7             | $U_3=24\text{ В}$      |
| 19                | 15               | 1             | 2             | 3             | 4             | 4             | 1             | $U_{AB}=250\text{ В}$  |
| 20                | 16               | 3             | 2             | 4             | 2             | 4             | 4             | $U_{AB}=60\text{ В}$   |
| 21                | 12               | 1             | 2             | 2             | 5             | 12            | 4             | $U_3=50\text{ В}$      |
| 22                | 13               | 4             | 12            | 6             | 12            | 3             | 3             | $I_3=1,2\text{ А}$     |
| 23                | 14               | 5             | 15            | 10            | 5             | 10            | 4             | $I_6=4\text{ А}$       |
| 24                | 15               | 1             | 4             | 1             | 2             | 2             | 2             | $I_6=8\text{ А}$       |
| 25                | 16               | 2             | 4             | 8             | 3             | 10            | 10            | $I_1=24\text{ А}$      |
| 26                | 12               | 1             | 2             | 2             | 5             | 12            | 12            | $I_2=3,75\text{ А}$    |
| 27                | 13               | 5             | 2             | 6             | 6             | 5             | 1             | $I_5=6\text{ А}$       |
| 28                | 14               | 3             | 5             | 1             | 4             | 20            | 1             | $I_3=24\text{ А}$      |
| 29                | 15               | 2             | 4             | 2             | 2             | 2             | 1             | $I_4=4\text{ А}$       |
| 30                | 16               | 5             | 4             | 8             | 3             | 10            | 10            | $U_1=54\text{ В}$      |
| 31                | 12               | 3             | 8             | 8             | 22            | 12            | 12            | $I_4=5\text{ А}$       |
| 32                | 13               | 4             | 6             | 12            | 12            | 1             | 5             | $U_{AB}=80\text{ В}$   |
| 33                | 14               | 4             | 6             | 2             | 3             | 20            | 2             | $U_6=30\text{ В}$      |
| 34                | 15               | 1             | 3             | 2             | 4             | 4             | 2             | $I_5=4,8\text{ А}$     |
| 35                | 16               | 3             | 2             | 3             | 4             | 6             | 3             | $I_6=3\text{ А}$       |

Продолжение таблицы 3

| Номер<br>варианта | Номер<br>рисунка | R <sub>1</sub> ,<br>Ом | R <sub>2</sub> ,<br>Ом | R <sub>3</sub> ,<br>Ом | R <sub>4</sub> ,<br>Ом | R <sub>5</sub> ,<br>Ом | R <sub>6</sub> ,<br>Ом | Задаваемая<br>величина  |
|-------------------|------------------|------------------------|------------------------|------------------------|------------------------|------------------------|------------------------|-------------------------|
| 36                | 12               | 1                      | 10                     | 10                     | 1                      | 4                      | 12                     | U <sub>5</sub> = 30 В   |
| 37                | 13               | 3                      | 2                      | 6                      | 6                      | 5                      | 1                      | I <sub>6</sub> = 3 А    |
| 38                | 14               | 8                      | 6                      | 3                      | 2                      | 20                     | 2                      | U <sub>1</sub> = 96 В   |
| 39                | 15               | 1                      | 9                      | 6                      | 8                      | 8                      | 8                      | U <sub>1</sub> = 200 В  |
| 40                | 16               | 2                      | 2                      | 4                      | 1                      | 6                      | 6                      | U <sub>5</sub> = 12 В   |
| 41                | 12               | 1                      | 3                      | 12                     | 8                      | 12                     | 3                      | I <sub>3</sub> = 1,25 А |
| 42                | 13               | 2                      | 12                     | 6                      | 12                     | 3                      | 3                      | U <sub>4</sub> = 10 В   |
| 43                | 14               | 4                      | 6                      | 6                      | 4                      | 10                     | 1                      | I <sub>5</sub> = 2 А    |
| 44                | 15               | 3                      | 3                      | 2                      | 4                      | 4                      | 2                      | U <sub>4</sub> = 48 В   |
| 45                | 16               | 5                      | 2                      | 3                      | 2                      | 20                     | 5                      | I <sub>1</sub> = 12 А   |
| 46                | 12               | 2                      | 3                      | 6                      | 1                      | 3                      | 6                      | U <sub>6</sub> = 80 В   |
| 47                | 13               | 5                      | 2                      | 6                      | 6                      | 1                      | 5                      | U <sub>1</sub> = 20 В   |
| 48                | 14               | 4                      | 6                      | 7                      | 3                      | 10                     | 1                      | U <sub>6</sub> = 60 В   |
| 49                | 15               | 1                      | 10                     | 4                      | 15                     | 10                     | 5                      | U <sub>6</sub> = 20 В   |
| 50                | 16               | 3                      | 20                     | 10                     | 8                      | 3                      | 6                      | U <sub>2</sub> = 36 В   |
| 51                | 12               | 2                      | 12                     | 4                      | 12                     | 10                     | 10                     | I <sub>6</sub> = 1 А    |
| 52                | 13               | 2                      | 3                      | 6                      | 4                      | 2                      | 2                      | I <sub>4</sub> = 2 А    |
| 53                | 14               | 1                      | 6                      | 4                      | 6                      | 10                     | 1                      | U <sub>2</sub> = 12 В   |
| 54                | 15               | 3                      | 6                      | 2                      | 12                     | 4                      | 1                      | I <sub>3</sub> = 2,4 А  |
| 55                | 16               | 4                      | 4                      | 8                      | 21                     | 24                     | 8                      | I <sub>6</sub> = 4,5 А  |
| 56                | 12               | 4                      | 8                      | 8                      | 8                      | 6                      | 4                      | U <sub>1</sub> = 20 В   |
| 57                | 13               | 3                      | 12                     | 12                     | 6                      | 3                      | 3                      | U <sub>2</sub> = 30 В   |
| 58                | 14               | 4                      | 6                      | 15                     | 5                      | 5                      | 2                      | I <sub>3</sub> = 3 А    |
| 59                | 15               | 5                      | 9                      | 8                      | 8                      | 8                      | 6                      | U <sub>3</sub> = 20 В   |
| 60                | 16               | 2                      | 4                      | 8                      | 2                      | 8                      | 24                     | U <sub>5</sub> = 24 В   |
| 61                | 12               | 3                      | 8                      | 8                      | 2                      | 12                     | 12                     | I <sub>6</sub> = 5 А    |
| 62                | 13               | 3                      | 12                     | 12                     | 6                      | 3                      | 3                      | I <sub>2</sub> = 4 А    |
| 63                | 14               | 4                      | 12                     | 10                     | 10                     | 5                      | 2                      | I <sub>2</sub> = 6 А    |
| 64                | 15               | 2                      | 8                      | 1                      | 10                     | 10                     | 2                      | U <sub>3</sub> = 30 В   |
| 65                | 16               | 5                      | 5                      | 10                     | 4                      | 15                     | 10                     | U <sub>3</sub> = 24 В   |
| 66                | 12               | 4                      | 4                      | 12                     | 9                      | 6                      | 4                      | I <sub>1</sub> = 12 А   |
| 67                | 13               | 1                      | 12                     | 12                     | 6                      | 2                      | 4                      | U <sub>3</sub> = 20 В   |
| 68                | 14               | 5                      | 12                     | 10                     | 10                     | 5                      | 2                      | I <sub>4</sub> = 3 А    |
| 69                | 15               | 2                      | 8                      | 3                      | 12                     | 4                      | 2                      | U <sub>3</sub> = 20 В   |
| 70                | 16               | 3                      | 6                      | 4                      | 4                      | 16                     | 16                     | I <sub>2</sub> = 8 А    |

Продолжение таблицы 3

| Номер<br>варианта<br>а | Номер<br>рисунка | $R_1$ ,<br>Ом | $R_2$ ,<br>Ом | $R_3$ ,<br>Ом | $R_4$ ,<br>Ом | $R_5$ ,<br>Ом | $R_6$ ,<br>Ом | Задаваемая<br>величина |
|------------------------|------------------|---------------|---------------|---------------|---------------|---------------|---------------|------------------------|
| 71                     | 12               | 2             | 12            | 4             | 17            | 10            | 10            | $U_5=60\text{В}$       |
| 72                     | 13               | 3             | 12            | 12            | 12            | 3             | 3             | $U_{AB}=60\text{ В}$   |
| 73                     | 14               | 5             | 6             | 3             | 2             | 20            | 2             | $U_{AB}=60\text{ В}$   |
| 74                     | 15               | 1             | 8             | 1             | 6             | 6             | 4             | $U_4=120\text{ В}$     |
| 75                     | 16               | 4             | 2             | 3             | 4             | 3             | 6             | $U_6=12\text{ В}$      |
| 76                     | 12               | 4             | 4             | 12            | 3             | 12            | 4             | $U_{AB}=5\text{ В}$    |
| 77                     | 13               | 3             | 2             | 6             | 6             | 1             | 5             | $I_1=20\text{ А}$      |
| 78                     | 14               | 1             | 6             | 15            | 5             | 5             | 2             | $I_5=4\text{ А}$       |
| 79                     | 15               | 5             | 8             | 2             | 10            | 10            | 4             | $I_1=25\text{ А}$      |
| 80                     | 16               | 2             | 5             | 10            | 4             | 10            | 15            | $I_4=6\text{ А}$       |
| 81                     | 12               | 2             | 8             | 8             | 2             | 6             | 6             | $I_2=3\text{ А}$       |
| 82                     | 13               | 1             | 12            | 12            | 12            | 3             | 3             | $U_6=24\text{ В}$      |
| 83                     | 14               | 2             | 6             | 5             | 15            | 5             | 2             | $U_4=36\text{ В}$      |
| 84                     | 15               | 3             | 8             | 3             | 4             | 12            | 2             | $U_{AB}=60\text{ В}$   |
| 85                     | 16               | 5             | 20            | 10            | 8             | 6             | 3             | $I_3=4\text{ А}$       |
| 86                     | 12               | 1             | 3             | 6             | 1             | 3             | 6             | $U_6=12\text{В}$       |
| 87                     | 13               | 3             | 1             | 2             | 4             | 1             | 3             | $U_1=40\text{ В}$      |
| 88                     | 14               | 4             | 12            | 7             | 13            | 5             | 8             | $I_2=2\text{ А}$       |
| 89                     | 15               | 2             | 8             | 2             | 4             | 12            | 3             | $U_5=120\text{ В}$     |
| 90                     | 16               | 3             | 2             | 3             | 2             | 5             | 20            | $I_1=18\text{ А}$      |
| 91                     | 12               | 2             | 4             | 12            | 3             | 6             | 6             | $U_4=36\text{В}$       |
| 92                     | 13               | 1             | 1             | 2             | 4             | 3             | 1             | $I_6=6\text{ А}$       |
| 93                     | 14               | 5             | 12            | 13            | 7             | 5             | 8             | $U_5=120\text{ В}$     |
| 94                     | 15               | 3             | 8             | 4             | 6             | 6             | 1             | $U_6=10\text{ В}$      |
| 95                     | 16               | 1             | 2             | 3             | 4             | 6             | 3             | $U_{AB}=90\text{ В}$   |
| 96                     | 12               | 1             | 3             | 12            | 8             | 3             | 12            | $I_4=12\text{А}$       |
| 97                     | 13               | 5             | 1             | 2             | 4             | 1             | 3             | $U_{AB}=120\text{ В}$  |
| 98                     | 14               | 3             | 12            | 13            | 7             | 5             | 8             | $I_1=24\text{ А}$      |
| 99                     | 15               | 2             | 8             | 1             | 8             | 8             | 3             | $U_{AB}=500\text{ В}$  |
| 100                    | 16               | 4             | 4             | 8             | 5             | 6             | 6             | $I_2=4\text{ А}$       |

**Задача 2.** Цепь переменного тока содержит различные элементы (резисторы, индуктивности, емкости), включенные последовательно. Схема цепи приведена на соответствующем рисунке. Номер рисунка и значение сопротивлений всех элементов и один дополнительный параметр заданы в таблице 4. Начертить схему цепи и определить

величины, если они не заданы в таблице 4 : 1) полное сопротивление  $Z$ ; 2) напряжение  $U$ , приложенное к цепи; 3) ток  $I$ ; 4) угол сдвига фаз  $\varphi$  (по величине и знаку); 5) активную  $P$ , реактивную  $Q$  и полную  $S$  мощности цепи. Начертить в масштабе векторную диаграмму цепи и пояснить ее построение.

Указание. Смотрите решение типового примера 2 в методических указаниях по выполнению контрольных работ.

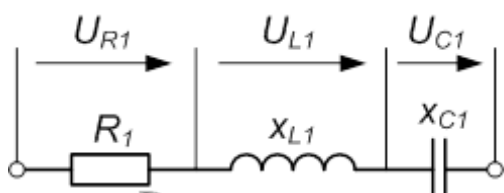


Рисунок 17

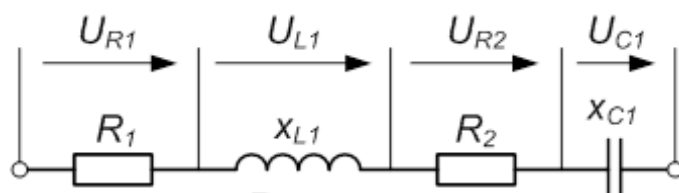


Рисунок 18

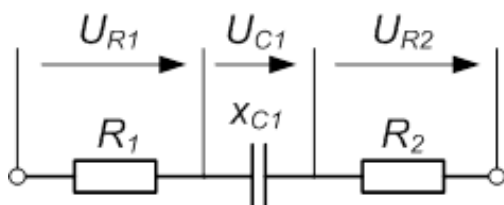


Рисунок 19

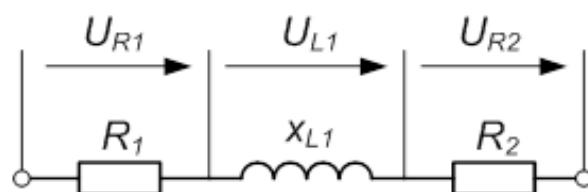


Рисунок 20

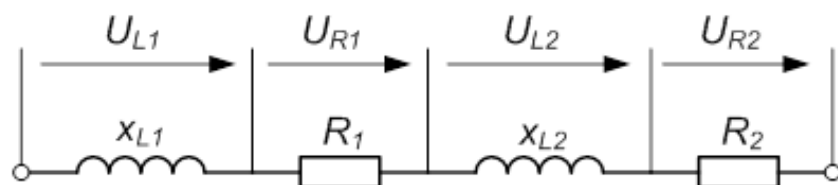


Рисунок 21

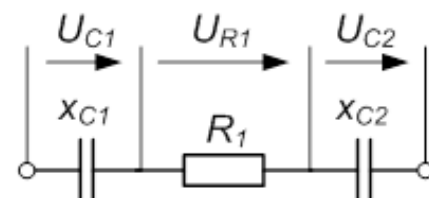


Рисунок 22

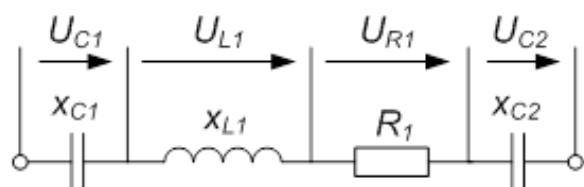


Рисунок 23

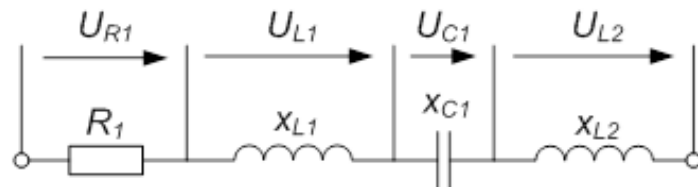


Рисунок 24

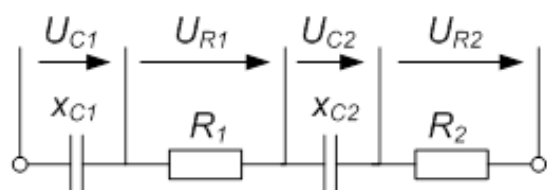


Рисунок 25

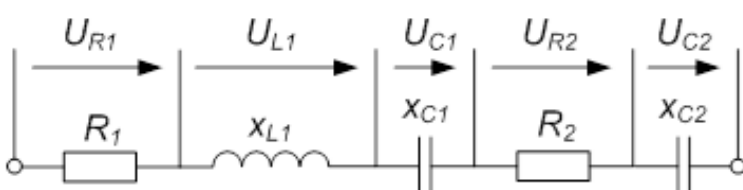


Рисунок 26

| Последняя цифра шифра | Номер рисунка | $R_1$ , Ом | $R_2$ , Ом | $x_{L1}$ , Ом | $x_{L2}$ , Ом | $x_{C1}$ , Ом | $x_{C2}$ , Ом | Дополнительный параметр         |
|-----------------------|---------------|------------|------------|---------------|---------------|---------------|---------------|---------------------------------|
| 1                     | 17            | 4          | -          | 6             | -             | 3             | -             | $Q_{L1}=150\text{вар}$          |
| 2                     | 18            | 6          | 2          | 3             | -             | 9             | -             | $U = 40\text{ В}$               |
| 3                     | 19            | 10         | 6          | -             | -             | 12            | -             | $I = 5\text{ А}$                |
| 4                     | 20            | 6          | 2          | 6             | -             | -             | -             | $P_{R2}= 150\text{ Вт}$         |
| 5                     | 21            | 4          | 4          | 3             | 3             | -             | -             | $S = 360\text{ В}\cdot\text{А}$ |
| 6                     | 22            | 3          | -          | -             | -             | 2             | 2             | $I = 4\text{ А}$                |
| 7                     | 23            | 8          | -          | 12            | -             | 4             | 2             | $P_{R1} = 200\text{ Вт}$        |
| 8                     | 24            | 16         | -          | 10            | 8             | 6             | -             | $U = 80\text{ В}$               |
| 9                     | 25            | 10         | 6          | -             |               | 8             | 4             | $I = 2\text{ А}$                |
| 0                     | 26            | 2          | 2          | 5             | -             | 6             | 2             | $Q = - 192\text{ вар}$          |

**Задача 3.** В трехфазную четырехпроводную сеть с действующим значением линейного напряжения  $U_{\text{ном}}$  и частотой  $f=50\text{Гц}$  подключен приемник энергии, соединенный по схеме «звезда» с разными по характеру сопротивления (рисунки 25-34). Определить действующие значения линейных и фазных токов, начертить в масштабе векторную диаграмму цепи и определить полную потребляемую нагрузкой мощность. Данные для своего варианта взять из таблицы 5.

Указание. Смотрите решение типового примера 3в методических указаниях по выполнению контрольных работ.

Таблица 5

| Последняя цифра шифра | Номер рисунка | $U_{\text{ном}}$ , В | Последняя цифра шифра | Номер рисунка | $U_{\text{ном}}$ , В |
|-----------------------|---------------|----------------------|-----------------------|---------------|----------------------|
| 1                     | 27            | 380                  | 6                     | 32            | 660                  |
| 2                     | 28            | 660                  | 7                     | 33            | 220                  |
| 3                     | 29            | 220                  | 8                     | 34            | 127                  |
| 4                     | 30            | 127                  | 9                     | 35            | 380                  |
| 5                     | 31            | 380                  | 0                     | 36            | 660                  |

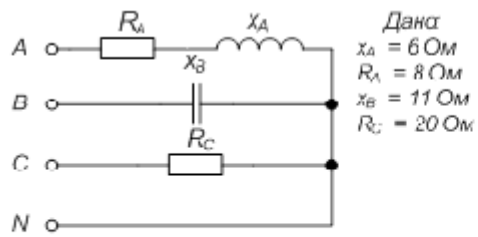


Рисунок 27

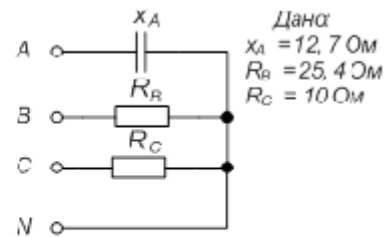


Рисунок 28

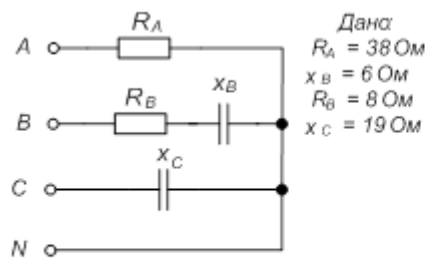


Рисунок 29

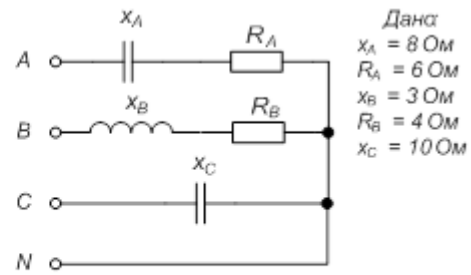


Рисунок 30

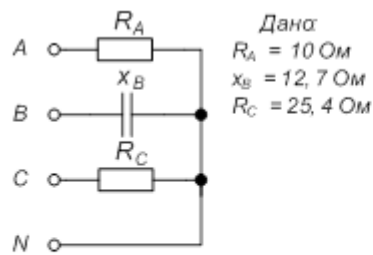


Рисунок 31

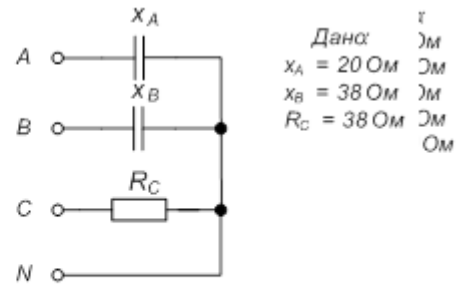


Рисунок 32

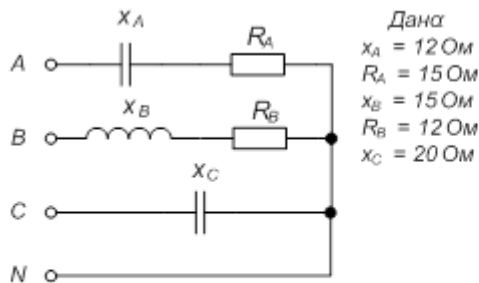


Рисунок 33

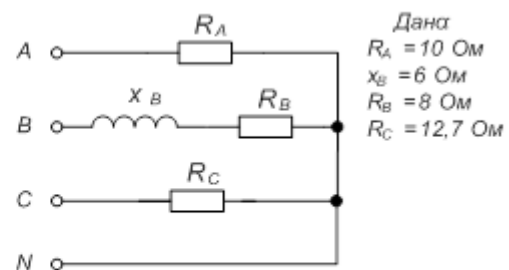


Рисунок 34

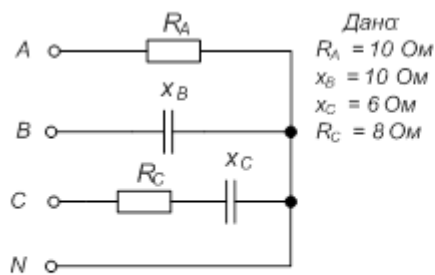


Рисунок 35

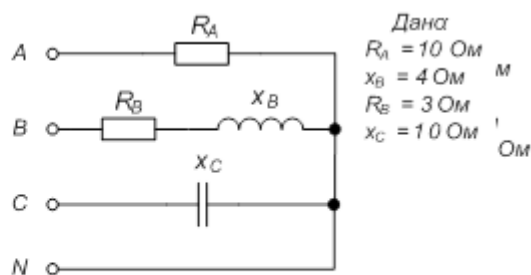


Рисунок 36

**Задача 4.** В трехфазную четырехпроводную сеть с действующим значением линейного напряжения  $U_{\text{ном}}$  и частотой  $f=50\text{Гц}$  подключен приемник энергии, соединенный по схеме «треугольник» с разными по характеру сопротивления (рисунки 35-44). Определить фазные токи и начертить в масштабе векторную диаграмму цепи. Из векторной диаграммы определить числовые значения линейных токов. Данные для своего варианта взять из таблицы 6.

Указание. Смотрите решение типового примера 4в методических указаниях по выполнению контрольных работ.

Таблица 6

| Последняя цифра шифра | Номер рисунка | $U_{\text{ном}}, \text{В}$ | Последняя цифра шифра | Номер рисунка | $U_{\text{ном}}, \text{В}$ |
|-----------------------|---------------|----------------------------|-----------------------|---------------|----------------------------|
| 1                     | 37            | 220                        | 6                     | 42            | 380                        |
| 2                     | 38            | 380                        | 7                     | 43            | 660                        |
| 3                     | 39            | 660                        | 8                     | 44            | 127                        |
| 4                     | 40            | 127                        | 9                     | 45            | 220                        |
| 5                     | 41            | 220                        | 0                     | 46            | 380                        |

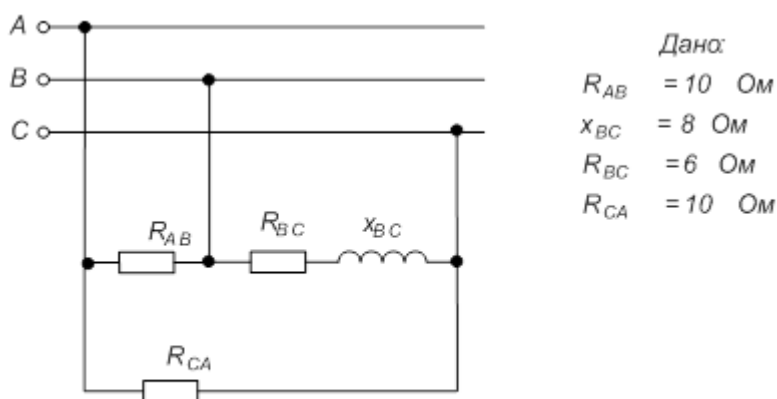
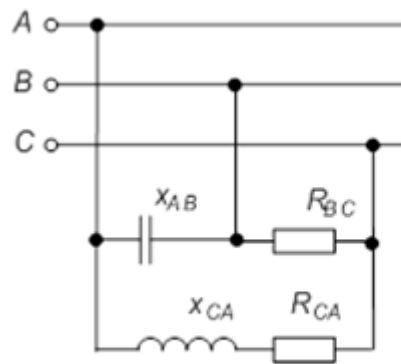


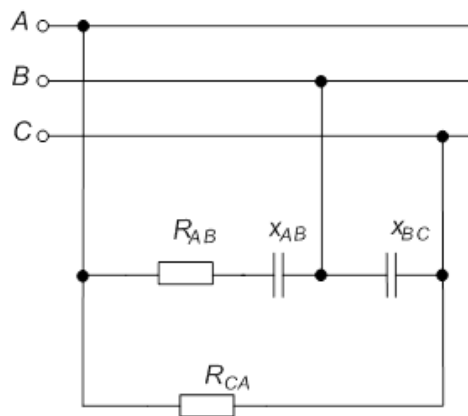
Рисунок 37



Дано:

$$\begin{aligned} X_{AB} &= 20 \text{ Ом} \\ R_{BC} &= 20 \text{ Ом} \\ X_{CA} &= 16 \text{ Ом} \\ R_{CA} &= 12 \text{ Ом} \end{aligned}$$

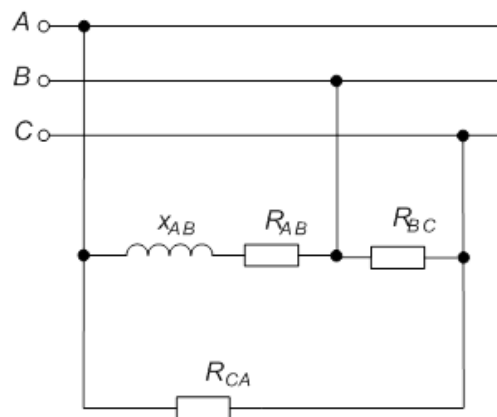
Рисунок 38



Дано

$$\begin{aligned} X_{AB} &= 32 \text{ Ом} \\ R_{AB} &= 24 \text{ Ом} \\ X_{BC} &= 40 \text{ Ом} \\ R_{CA} &= 40 \text{ Ом} \end{aligned}$$

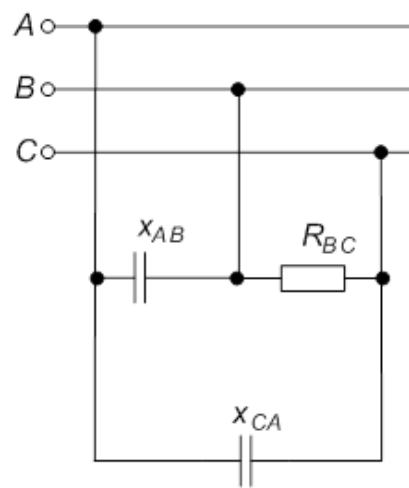
Рисунок 39



Дано

$$\begin{aligned} X_{AB} &= 6 \text{ Ом} \\ R_{AB} &= 8 \text{ Ом} \\ R_{BC} &= 10 \text{ Ом} \\ R_{CA} &= 20 \text{ Ом} \end{aligned}$$

Рисунок 40



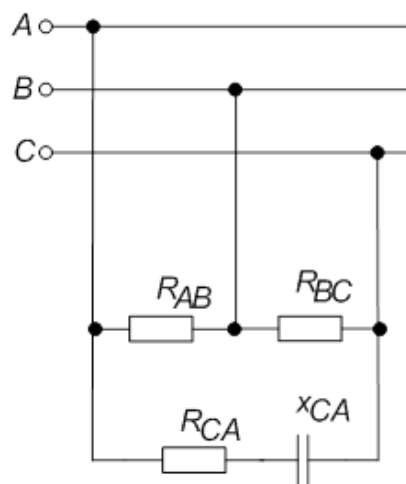
Дано:

$$x_{AB} = 5 \text{ Ом}$$

$$R_{BC} = 5 \text{ Ом}$$

$$x_{CA} = 5 \text{ Ом}$$

Рисунок 41



Дано:

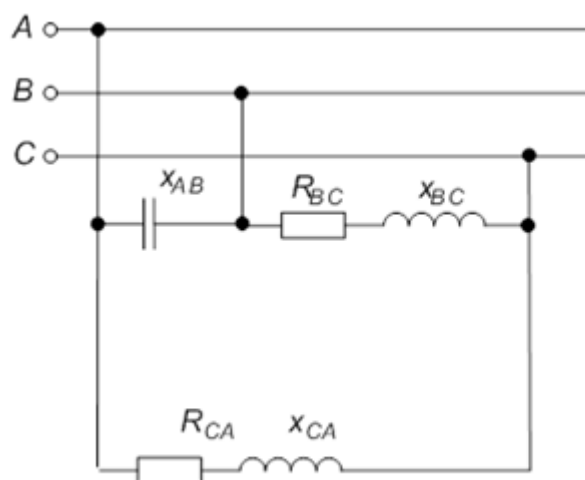
$$R_{AB} = 20 \text{ Ом}$$

$$R_{BC} = 20 \text{ Ом}$$

$$x_{CA} = 12 \text{ Ом}$$

$$R_{CA} = 16 \text{ Ом}$$

Рисунок 42



Дана

$$x_{AB} = 20 \text{ Ом}$$

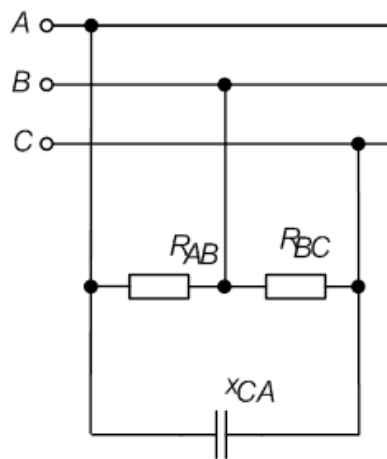
$$R_{BC} = 16 \text{ Ом}$$

$$x_{BC} = 12 \text{ Ом}$$

$$x_{CA} = 16 \text{ Ом}$$

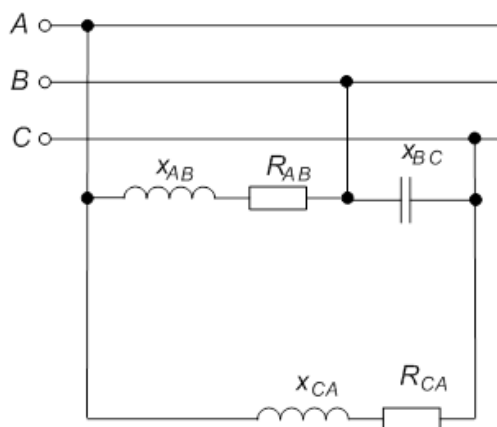
$$R_{CA} = 12 \text{ Ом}$$

Рисунок 43



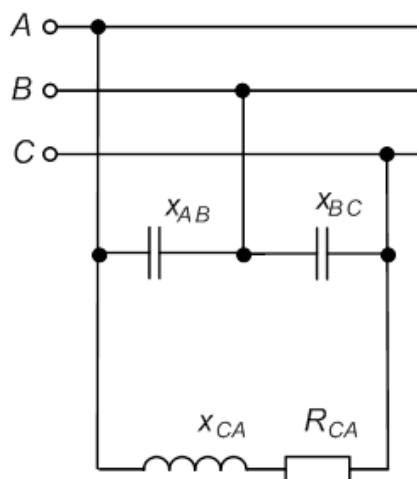
Дана  
 $R_{AB} = 10 \text{ Ом}$   
 $R_{BC} = 20 \text{ Ом}$   
 $X_{CA} = 10 \text{ Ом}$

Рисунок 44



Дано:  
 $X_{AB} = 4 \text{ Ом}$   
 $R_{AB} = 3 \text{ Ом}$   
 $X_{BC} = 10 \text{ Ом}$   
 $X_{CA} = 6 \text{ Ом}$   
 $R_{CA} = 8 \text{ Ом}$

Рисунок 45



Дана  
 $X_{AB} = 20 \text{ Ом}$   
 $X_{BC} = 44 \text{ Ом}$   
 $X_{CA} = 16 \text{ Ом}$   
 $R_{CA} = 12 \text{ Ом}$

Рисунок 46.

**Задача 5.** Для трехфазного асинхронного двигателя с короткозамкнутым ротором известны следующие номинальные характеристики: мощность  $P_{\text{ном}}$ ; частота вращения  $n_2$ ; КПД-  $\eta_{\text{ном}}$ ; число пар полюсов; коэффициент мощности  $\cos \varphi_{\text{ном}}$ ; кратность пускового тока  $I_{\text{п}}/I_{\text{ном}}$ ; кратность пускового момента  $M_{\text{п}}/M_{\text{ном}}$ ; способность к

перегрузке  $M_{\max}/M_{\text{ном}}$ ; номинальное напряжение  $U_{\text{ном}} = 380\text{В}$ ; частота тока  $f_1 = 50\text{Гц}$ .

Определить: 1) номинальный  $I_{\text{ном}}$  и пусковой  $I_{\text{п}}$  токи; 2) номинальный  $M_{\text{ном}}$ , пусковой  $M_{\text{п}}$  и максимальный  $M_{\max}$  моменты; 3) синхронную частоту вращения  $n_1$ ; 4) номинальное скольжение  $S_{\text{ном}}$ ; 5) частоту тока в роторе  $f_2$  при номинальной нагрузке; 6) потребляемую из сети мощность.

Ответить на вопрос: каков принцип действия асинхронного двигателя? Почему двигатель называют асинхронным?

Данные для своего варианта взять из таблицы 7.

Указание. Смотрите решение типовых примеров 5 в методических указаниях по выполнению контрольных работ.

Таблица 7

| Последняя цифра шифра | $P_{\text{ном}}$ , кВт | $n_2$ , об/мин | $\eta_{\text{ном}}$ | $\cos\varphi_{\text{ном}}$ | $\frac{I_{\text{п}}}{I_{\text{ном}}}$ | $\frac{M_{\text{п}}}{M_{\text{ном}}}$ | $\frac{M_{\max}}{M_{\text{ном}}}$ | p |
|-----------------------|------------------------|----------------|---------------------|----------------------------|---------------------------------------|---------------------------------------|-----------------------------------|---|
| 1                     | 22                     | 1460           | 0,89                | 0,87                       | 7,5                                   | 2,0                                   | 2,2                               | 2 |
| 2                     | 3,0                    | 1425           | 0,82                | 0,84                       | 6,5                                   | 1,2                                   | 2,2                               | 2 |
| 3                     | 11                     | 2900           | 0,88                | 0,9                        | 7,5                                   | 1,6                                   | 2,2                               | 1 |
| 4                     | 15                     | 975            | 0,875               | 0,83                       | 7,0                                   | 2,0                                   | 2,2                               | 3 |
| 5                     | 75                     | 1480           | 0,93                | 0,9                        | 7,5                                   | 1,2                                   | 2,2                               | 2 |
| 6                     | 1,5                    | 695            | 0,74                | 0,65                       | 6,5                                   | 1,2                                   | 2,0                               | 4 |
| 7                     | 30                     | 1460           | 0,9                 | 0,87                       | 7,5                                   | 2,0                                   | 2,2                               | 2 |
| 8                     | 4,0                    | 2880           | 0,84                | 0,89                       | 7,5                                   | 1,2                                   | 2,2                               | 1 |
| 9                     | 45                     | 985            | 0,915               | 0,88                       | 6,5                                   | 1,2                                   | 2,2                               | 3 |
| 0                     | 5,5                    | 2880           | 0,875               | 0,92                       | 7,5                                   | 1,2                                   | 2,2                               | 2 |

**Задача 6.** В таблице 8 задан тип трехфазного трансформатора со следующими данными: низшее напряжение  $U_2$ , потери при холостом ходе  $\Delta P_x$ , потери при коротком замыкании  $\Delta P_k$ , напряжение короткого замыкания  $U_k$ , ток холостого хода  $I_x$ .

Определить: 1) фазные напряжения  $U_{\phi}$  при группе соединения трансформатора; 2) фазный  $n_{\phi}$  и линейный  $n_L$  коэффициенты трансформации; 3) номинальные токи первичных и вторичных обмоток; 4) абсолютное значение напряжения при коротком замыкании. Расшифровать условное обозначение трансформатора.

Указание. Смотрите решение типовых примеров 6 в методических указаниях по выполнению контрольных работ.

Таблица 8

| Последняя цифра шифра | Тип трехфазного трансформатора | $S_{но},$<br>ВА | $U_{нм},$<br>кВ | $U_2,$<br>кВ | $\Delta P_x,$<br>Вт | $\Delta P_k,$<br>Вт | $U_k,$<br>% от $U_{ном}$ | $I_x,$<br>% от $I_{ном}$ | Схема соединения обмоток |
|-----------------------|--------------------------------|-----------------|-----------------|--------------|---------------------|---------------------|--------------------------|--------------------------|--------------------------|
| 1                     | ТМ-25/6                        | 25              | 6               | 0,4          | 130                 | 600                 | 4,5                      | 3,2                      | Y/Y                      |
| 2                     | ТМ-40/10                       | 40              | 10              | 0,4          | 175                 | 881                 | 4,7                      | 3                        | Y/Y                      |
| 3                     | ТМГ-25/10                      | 25              | 10              | 0,4          | 110                 | 600                 | 4,5                      | 2,7                      | $\Delta/Y$               |
| 4                     | ТМ-63/6                        | 63              | 6               | 0,4          | 220                 | 1280                | 4,5                      | 2,4                      | $\Delta/Y$               |
| 5                     | ТМ-40/6                        | 40              | 6               | 0,69         | 190                 | 880                 | 4,5                      | 3                        | $\Delta/Y$               |
| 6                     | ТМ-100/6                       | 100             | 6               | 0,69         | 365                 | 197                 | 4,5                      | 2,6                      | Y/Y                      |
| 7                     | ТМ-160/10                      | 160             | 10              | 0,4          | 565                 | 265                 | 4,5                      | 2,4                      | Y/Y                      |
| 8                     | ТМ-250/10                      | 250             | 10              | 0,4          | 820                 | 3700                | 4,5                      | 2,3                      | $\Delta/Y$               |
| 9                     | ТМ-400/10                      | 400             | 10              | 0,4          | 1050                | 5500                | 4,5                      | 2,7                      | Y/Y                      |
| 0                     | ТМ-100/6                       | 100             | 6               | 0,69         | 365                 | 197                 | 4,5                      | 2,6                      | $\Delta/Y$               |

**Задача 7.** На табличке-паспорте двигателя постоянного тока указаны следующие паспортные данные: тип двигателя, номинальный режим работы - продолжительный, номинальная мощность  $P_{ном}$ , номинальное напряжение  $U_{ном}$ , номинальная частота вращения  $n_{ном}$ , система возбуждения – параллельная, КПД  $\eta$ . Кроме того, известно сопротивление цепи обмотки якоря  $R_{я}$  и обмотки возбуждения  $R_{в}$ .

Данные для своего варианта взять из таблицы 9.

Определить: 1) номинальный вращающий момент; 2) мощность, потребляемую двигателем из сети; 3) потребляемый ток, ток в обмотках якоря и возбуждения; 4) ток в обмотке якоря при коротком замыкании (при пуске); 5) пусковой ток и сопротивление пускового реостата при условии  $I_{п} = 2,5 I_{ном}$ ; 6) потери и ток двигателя на холостом ходу. Расшифровать условное обозначение двигателя.

Указание. Смотрите решение типовых примеров 7 в методических указаниях по выполнению контрольных работ.

Таблица 9

| Последняя цифра шифра | Тип двигателя | $P_{ном},$<br>кВт | $U_{ном},$<br>В | $n_{ном},$<br>об/мин | $\eta$<br>%, | $R_{я},$<br>Ом | $R_{в},$ Ом |
|-----------------------|---------------|-------------------|-----------------|----------------------|--------------|----------------|-------------|
| 1                     | 2ПО160ЛУХЛ4   | 3,2               | 110             | 750                  | 78           | 0,13           | 117/32,8    |
| 2                     | 2ПО160ЛУХЛ4   | 3,2               | 220             | 750                  | 79           | 0,525          | 117/32,8    |
| 3                     | 2ПО160ЛУХЛ4   | 3,2               | 440             | 750                  | 78,5         | 2,27           | 117/32,8    |
| 4                     | 2ПО160ЛУХЛ4   | 4                 | 110             | 950                  | 80,5         | 0,096          | 117/32,8    |

Продолжение таблицы 9

| Последняя цифра | Тип двигателя | $P_{ном},$<br>кВт | $U_{ном},$<br>В | $n_{ном},$<br>об/мин | $\eta$<br>%, | $R_{я},$<br>Ом | $R_{в},$ Ом |
|-----------------|---------------|-------------------|-----------------|----------------------|--------------|----------------|-------------|
|-----------------|---------------|-------------------|-----------------|----------------------|--------------|----------------|-------------|

| шифра |             |     |     |      |      |       |           |
|-------|-------------|-----|-----|------|------|-------|-----------|
| 5     | 2ПО160ЛУХЛ4 | 4   | 440 | 1000 | 82   | 1,31  | 117/32,8  |
| 6     | 2ПО160ЛУХЛ4 | 12  | 220 | 3000 | 89   | 0,044 | 117/32,8  |
| 7     | 2ПО132ЛУХЛ4 | 1,6 | 220 | 750  | 71   | 1,57  | 138/37,4  |
| 8     | 2ПО132ЛУХЛ4 | 2,2 | 440 | 1000 | 75,5 | 3,84  | 138/37,4  |
| 9     | 2ПО180МУХЛ4 | 4,5 | 220 | 750  | 79,5 | 0,486 | 114/30,2  |
| 0     | 2ПО180МУХЛ4 | 6,3 | 110 | 1000 | 82   | 0,058 | 85,9/23,1 |

Примечание: Напряжение обмотки возбуждения двигателя постоянного тока 110 или 220 вольт независимо от напряжения обмотки якоря.

**Задача 8.** Мостовой выпрямитель питает потребитель постоянным током. Мощность потребителя  $P_d$  (Вт) с напряжением питания  $U_d$  (В). Следует выбрать один тип полупроводниковых диодов, параметры которых приведены в таблице 2 для схемы выпрямителя, и пояснить, на основании чего сделан выбор. Начертить схему выпрямителя. Данные для своего варианта взять из таблицы 10.

Указание. Смотрите решение типовых примеров 8 в методических указаниях по выполнению контрольных работ

Таблица 10

| Последняя<br>цифра<br>шифра | $P_d$ , Вт | $U_d$ , В | Последняя<br>цифра<br>шифра | $P_d$ , Вт | $U_d$ , В |
|-----------------------------|------------|-----------|-----------------------------|------------|-----------|
| 1                           | 80         | 100       | 6                           | 30         | 100       |
| 2                           | 200        | 50        | 7                           | 250        | 150       |
| 3                           | 150        | 500       | 8                           | 300        | 200       |
| 4                           | 300        | 20        | 9                           | 250        | 200       |
| 5                           | 600        | 80        | 0                           | 500        | 400       |

**Задача 9.** Трехфазный выпрямитель, собранный на трех диодах, должен питать потребитель постоянным током. Мощность потребителя  $P_d$  (Вт) при напряжении  $U_d$  (В). Следует выбрать один тип полупроводниковых диодов, параметры которых приведены в таблице 2 для схемы выпрямителя, и пояснить, на основании чего сделан выбор. Начертить схему выпрямителя. Данные для своего варианта взять из таблицы 11.

Указание. Смотрите решение типовых примеров 11 в методических указаниях по выполнению контрольных работ.

Таблица 11

| Последняя<br>цифра<br>шифра | $P_d, \text{Вт}$ | $U_d, \text{В}$ | Последняя<br>цифра<br>шифра | $P_d, \text{Вт}$ | $U_d, \text{В}$ |
|-----------------------------|------------------|-----------------|-----------------------------|------------------|-----------------|
| 1                           | 90               | 30              | 6                           | 100              | 40              |
| 2                           | 100              | 400             | 7                           | 600              | 200             |
| 3                           | 60               | 80              | 8                           | 150              | 150             |
| 4                           | 900              | 150             | 9                           | 400              | 80              |
| 5                           | 200              | 40              | 0                           | 500              | 20              |

**Задача 10.** Схема двухполупериодного выпрямителя питает потребитель постоянным током. Мощность потребителя  $P_d(\text{Вт})$  с напряжением питания  $U_d(\text{В})$ . Следует выбрать один тип полупроводниковых диодов, параметры которых приведены в таблице 2 для схемы выпрямителя, и пояснить, на основании чего сделан выбор. Начертить схему выпрямителя. Данные для своего варианта взять из таблицы 12.

Указание. Смотрите решение типовых примеров 9 в методических указаниях по выполнению контрольных работ.

Таблица 12

| Последняя<br>цифра<br>шифра | $P_d, \text{Вт}$ | $U_d, \text{В}$ | Последняя<br>цифра<br>шифра | $P_d, \text{Вт}$ | $U_d, \text{В}$ |
|-----------------------------|------------------|-----------------|-----------------------------|------------------|-----------------|
| 1                           | 20               | 60              | 6                           | 30               | 100             |
| 2                           | 180              | 30              | 7                           | 150              | 20              |
| 3                           | 240              | 180             | 8                           | 1000             | 200             |
| 4                           | 400              | 80              | 9                           | 120              | 15              |
| 5                           | 800              | 50              | 0                           | 80               | 150             |

**Задача 11.** Однополупериодный выпрямитель должен питать потребитель постоянным током. Мощность потребителя  $P_d(\text{Вт})$  при напряжении  $U_d(\text{В})$ . Следует выбрать один тип полупроводниковых диодов, параметры которых приведены в таблице 2 для схемы выпрямителя, и пояснить, на основании чего сделан выбор. Начертить схему выпрямителя.

Данные для своего варианта взять из таблицы 13.

Указание. Смотрите решение типовых примеров 10 в методических указаниях по выполнению контрольных работ.

Таблица 13

| Последняя<br>цифра<br>шифра | $P_d, \text{Вт}$ | $U_d, \text{В}$ | Последняя<br>цифра<br>шифра | $P_d, \text{Вт}$ | $U_d, \text{В}$ |
|-----------------------------|------------------|-----------------|-----------------------------|------------------|-----------------|
| 1                           | 90               | 30              | 6                           | 100              | 40              |
| 2                           | 100              | 400             | 7                           | 600              | 200             |
| 3                           | 60               | 80              | 8                           | 150              | 150             |
| 4                           | 900              | 150             | 9                           | 400              | 80              |
| 5                           | 200              | 40              | 0                           | 500              | 20              |

Ответить на вопрос своего варианта из таблицы 14.

Таблица 14

| Номер<br>варианта | Вопрос                                                                                                                                                    |
|-------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 1                 | 2                                                                                                                                                         |
| 01                | Рассказать о значении электроники в развитии народного хозяйства РБ и указать области применения электронных приборов в различных отраслях промышленности |
| 02                | Привести классификацию электронных приборов на полупроводниковые, электровакуумные и газоразрядные и дать им краткую характеристику                       |
| 03                | Перечислить основные виды электронной эмиссии и привести примеры использования различных видов эмиссии в электронных приборах                             |
| 04                | Объяснить смысл электронной и дырочной электропроводности полупроводников. Рассказать о влиянии примесей на их проводимость                               |
| 05                | Объяснить физический смысл электронно-дырочного (р-п) перехода полупроводников и его одностороннюю проводимость                                           |
| 06                | Объяснить устройство полупроводниковых диодов и принцип выпрямления ими переменного тока                                                                  |

Продолжение таблицы 14

| Номер<br>варианта | Вопрос                                                                                                                          |
|-------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 1                 | 2                                                                                                                               |
| 07                | Начертить вольтамперную характеристику полупроводникового диода и пояснить его основные параметры, показав их на характеристике |
| 08                | Объяснить устройство полупроводниковых триодов -                                                                                |

|    |                                                                                                                                                      |
|----|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
|    | транзисторов, назначение электродов, принцип работы и применение                                                                                     |
| 09 | Начертить схему и объяснить принцип работы усилителя на транзисторе по схеме с общим эмиттером                                                       |
| 10 | Начертить схему и объяснить принцип работы усилителя на транзисторе по схеме с общей базой                                                           |
| 11 | Описать режим работы транзистора в усилительном каскаде по его входным и выходным характеристикам. Каковы правила выбора рабочей точки?              |
| 12 | Сравнить усилительные каскады на транзисторе и на трехэлектродной лампе - триоде. Каковы различия в их работе?                                       |
| 13 | Объяснить устройство пленочных интегральных схем микроэлектроники. Каковы их преимущества?                                                           |
| 14 | Объяснить устройство гибридных интегральных схем микроэлектроники. В чем их преимущество? Каково их назначение?                                      |
| 15 | Привести краткую классификацию интегральных схем микроэлектроники. Каково их применение в электронных приборах?                                      |
| 16 | Начертить структурную схему электронно-вычислительной машины (ЭВМ). Перечислить ее основные узлы, указать их назначение                              |
| 17 | Что называют двоичной системой счисления? Как выполняются операции сложения и вычитания в двоичной системе и какие устройства их осуществляют в ЭВМ? |
| 18 | Что называют программированием при работе электронно-вычислительной машины                                                                           |
| 19 | Описать устройства ввода и вывода информации электронно-вычислительной машины                                                                        |

Продолжение таблицы 14

| Номер варианта | Вопрос                                                                                                 |
|----------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 1              | 2                                                                                                      |
| 20             | Описать устройство и принцип действия полупроводниковых фотоэлементов- фотодиодов и фототриодов        |
| 21             | Описать виды разрядов в газе. Начертить и пояснить вольтамперную характеристику газоразрядных приборов |
| 22             | Описать устройство газоразрядных приборов с холодным и                                                 |

|    |                                                                                                                                                          |
|----|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
|    | накаленным катодами. Пояснить принцип их работы. Привести примеры и указать на различия в их работе                                                      |
| 23 | Описать устройство газового стабилизатора напряжения - стабилитрона. Начертить схему его включения, объяснить принцип действия. Каково его назначение?   |
| 24 | Объяснить принцип действия приборов с тлеющим разрядом на примере неоновой лампы. Описать устройство цифровых индикаторных ламп                          |
| 25 | Объяснить устройство, назначение и принцип действия тиратрона с накаленным катодом. Указать область его применения                                       |
| 26 | Начертить и объяснить характеристику зажигания (пусковую характеристику) тиратрона, пояснить ее ход. Начертить схему для снятия характеристики зажигания |
| 27 | Объяснить назначение и принцип действия обратной связи в усилителях                                                                                      |
| 28 | Начертить схему для исследования работы выпрямителей с использованием электронного осциллографа и объяснить порядок выполнения работы                    |
| 29 | Начертить структурную схему электронного осциллографа, объяснить его назначение, принцип работы. Каково его назначение?                                  |
| 30 | Объяснить назначение, устройство и принцип работы стабилизаторов напряжения на полупроводниковом диоде и газовом стабилитроне                            |
| 31 | Описать и начертить устройство катодов электровакуумных и ионных приборов                                                                                |
| 32 | Объяснить различие между биполярными и полевыми транзисторами. Области применения названных транзисторов                                                 |

Продолжение таблицы 14

| Номер<br>варианта | Вопрос                                                                 |
|-------------------|------------------------------------------------------------------------|
| 1                 | 2                                                                      |
| 33                | Классификация электронных усилителей. Параметры и искажения усилителей |
| 34                | Полупроводниковые запоминающие устройства                              |
| 35                | Интерфейс микропроцессоров и микро-ЭВМ                                 |
| 36                | Описать устройство и принцип работы операционного усилителя            |

|    |                                                                                                                                                                                                      |
|----|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 37 | Устройство, принцип работы и применение ртутных вентиляей                                                                                                                                            |
| 38 | Каково применение фотоэлектронных приборов в промышленности. Привести одну-две реальные схемы на этих приборах и пояснить принцип их действия                                                        |
| 39 | Генераторы высокой частоты на транзисторах. Устройство, принцип работы, применение                                                                                                                   |
| 40 | Генераторы прямоугольных импульсов - мультивибраторы. Устройство, принцип работы, применение                                                                                                         |
| 41 | Объяснить работу транзистора в ключевом режиме как бесконтактного переключающего устройства                                                                                                          |
| 42 | Начертить и объяснить структурную схему электронного усилителя. Указать его основные свойства и характеристики                                                                                       |
| 43 | Начертить схему генератора пилообразного напряжения на тиратроне и описать принцип ее работы                                                                                                         |
| 44 | Объяснить понятие усилительного каскада. Каковы отличия предварительных каскадов усиления от оконечных каскадов? Указать их назначение                                                               |
| 45 | Начертить условные обозначения газового стабилитрона, газотрона и тиратрона с накаливаемым катодом. Объяснить назначение их электродов. Чем они отличаются друг от друга? Указать область применения |
| 46 | Объяснить междукаскадные связи в электронных усилителях. Как влияет обратная связь на стабилизацию работы усилителя?                                                                                 |

Продолжение таблицы 14

| Номер<br>варианта | Вопрос                                                                                                                                                                         |
|-------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 1                 | 2                                                                                                                                                                              |
| 47                | Перечислить основные типы фотоэлементов и, пояснить их характеристики: световую, вольтамперную и спектральную. Назвать свойства фотоэлементов, как расшифровать их маркировку? |
| 48                | Какие виды запоминающих устройств применяются в ЭВМ? Пояснить их принцип действия                                                                                              |
| 49                | Начертить схему реле времени на тиратроне тлеющего разряда, объяснить принцип работы. Указать назначение                                                                       |

|    |                                                                                                                                                                        |
|----|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
|    | элементов                                                                                                                                                              |
| 50 | Начертить схему и объяснить устройство и принцип действия электронно-лучевой трубки с магнитным отклонением луча                                                       |
| 51 | Что называют системой автоматического регулирования (САР). Начертить и пояснить структурную схему САР. Назвать ее основные звенья. Привести примеры подобных систем    |
| 52 | Дать определение частотной характеристики усилителя. Начертить схему и пояснить порядок проведения работы при снятии частотной характеристики усилителя низкой частоты |
| 53 | Генераторы пилообразного напряжения. Устройство, принцип работы, применение                                                                                            |
| 54 | Архитектура микропроцессора                                                                                                                                            |
| 55 | Периферийные устройства микро-ЭВМ                                                                                                                                      |
| 56 | Составить схему транзисторного LC генератора и описать его работу                                                                                                      |
| 57 | Объяснить принцип работы системы автоматического регулирования на примере схемы автоматического регулятора температуры с использованием электронных устройств          |
| 58 | Объяснить устройство, принцип действия и схему включения тиристора. Пояснить основные параметры тиристоров                                                             |
| 59 | Объяснить процесс отклонения электронного луча электрическим полем в электронно-лучевой трубке. Как маркируют трубки?                                                  |

Продолжение таблицы 14

| Номер варианта | Вопрос                                                                                                                       |
|----------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 1              | 2                                                                                                                            |
| 60             | Привести классификацию и объяснить назначение выпрямителей переменного тока. Рассказать о составных частях схемы выпрямителя |
| 61             | Полевые транзисторы. Устройство, принцип работы, применение                                                                  |
| 62             | Изготовление резисторов, конденсаторов и других элементов микросхем на основе р-пперехода                                    |
| 63             | Объяснить назначение и устройство схемы температурной                                                                        |

|    |                                                                                                                                                      |
|----|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
|    | стабилизации при работе транзисторов в усилительном режиме                                                                                           |
| 64 | Описать режимы работы усилителей электрических сигналов. Как выбирают рабочую точку усилителя?                                                       |
| 65 | Сравнительные характеристики выпрямителей переменного тока по достоинствам и недостаткам                                                             |
| 66 | Электрическая связь каскадов усилителей                                                                                                              |
| 67 | В чем преимущества и недостатки полупроводниковых диодов и транзисторов по сравнению с электронными лампами                                          |
| 68 | Привести классификацию фотоэлектронных приборов. Пояснить смысл внешнего и внутреннего фотоэффекта                                                   |
| 69 | Описать устройство фотоэлементов с внешним фотоэффектом, принцип действия. Привести их характеристики. Указать область применения                    |
| 70 | Начертить схему и объяснить устройство и принцип действия фотоэлектронного умножителя                                                                |
| 71 | Цифровые индикаторы. Устройство, принцип работы, применение                                                                                          |
| 72 | Двухэлектродные ионные приборы. Устройство, принцип работы, применение                                                                               |
| 73 | Объяснить устройство фотоэлемента с внутренним фотоэффектом (фоторезистора) и принцип его работы. Указать область применения                         |
| 74 | Начертить схему фотореле с фотоэлементом с питанием от источника постоянного тока. Объяснить принцип работы фотореле. Указать область его применения |

Продолжение таблицы 14

| Номер<br>варианта | Вопрос                                                                                                                                                      |
|-------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 1                 | 2                                                                                                                                                           |
| 75                | Начертить схему фотореле на фоторезисторах. Объяснить принцип работы и указать область применения                                                           |
| 76                | Начертить схему триггера и сумматора и пояснить, как с их помощью производятся арифметические операции в ЭВМ                                                |
| 77                | Что называют программным управлением производственными процессами. Начертить упрощенную схему станка с программным управлением и пояснить принцип ее работы |
| 78                | Объяснить принцип работы системы автоматического контроля на примере схемы автоматического подсчета                                                         |

|    |                                                                                                                                                                 |
|----|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
|    | числа изделий на конвейере с использованием фотореле                                                                                                            |
| 79 | Основные виды интегральных микросхем и их отличия. Особенности БИС, ГИС                                                                                         |
| 80 | Привести схему и объяснить принцип работы управляемого выпрямителя на тиристорах. Указать преимущества этой схемы                                               |
| 81 | Начертить схему и объяснить устройство и принцип работы электронно-лучевой трубки с электростатическим отклонением луча                                         |
| 82 | Вентильные фотоэлементы. Устройство, принцип работы, характеристики, применение                                                                                 |
| 83 | Объяснить устройство и принцип работы двоичного счетчика в ЭВМ                                                                                                  |
| 84 | Объяснить устройство и принцип работы сумматора арифметического устройства ЭВМ                                                                                  |
| 85 | Привести классификацию и типы электронных усилителей. Указать назначение усилителей в электронных устройствах                                                   |
| 86 | Начертить три возможные схемы включения транзистора: с общим эмиттером, общей базой и общим коллектором. В чем отличия в их работе?                             |
| 87 | Начертить и объяснить вольтамперную характеристику газоразрядных приборов. Описать виды разряда в газах. Как они используются в различных электронных приборах? |
| 88 | Начертить логические схемы И, ИЛИ, НЕ на полупроводниковых диодах и объяснить принцип их действия                                                               |

Продолжение таблицы 14

| Номер варианта | Вопрос                                                                                                                                                 |
|----------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 1              | 2                                                                                                                                                      |
| 89             | Начертить схему электронного генератора типа RC на транзисторе, объяснить принцип работы генератора, указать назначение элементов                      |
| 90             | Объяснить принцип действия и привести основные параметры электронных реле. Пояснить отличия электронных реле от электромеханических                    |
| 91             | Объяснить назначение и указать типы фильтров в схемах выпрямителей переменного тока. Привести графики выпрямительного напряжения с фильтрами и без них |
| 92             | Начертить схему фотоэлектронного реле с питанием                                                                                                       |

|     |                                                                                                                                                                  |
|-----|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
|     | переменным током. Объяснить принцип работы фотореле. Указать область его применения                                                                              |
| 93  | Начертить схему и объяснить принцип действия электронного контактного реле постоянного напряжения, собранного на двойном триоде                                  |
| 94  | Какие элементы входят в звенья систем автоматического регулирования? Указать их назначение                                                                       |
| 95  | Объяснить устройство точечных и плоскостных кремниевых диодов. Указать отличия в их характеристиках                                                              |
| 96  | Начертить условные обозначения и дать краткую характеристику фотоэлектронным приборам: фотоэлементам, фоторезисторам и фотодиодам. Указать области их применения |
| 97  | Начертить схему усилителя мощности на транзисторе с выходным трансформатором. Объяснить принцип работы. Указать назначение элементов                             |
| 98  | Описать строение полупроводников, привести их электрические свойства, пояснить физический смысл прохождения электрического тока в полупроводниках                |
| 99  | Объяснить физический процесс движения электронов в электрическом и магнитном полях                                                                               |
| 100 | Рассказать о значении электронных приборов в автоматизации производства и повышении качества и производительности труда. Привести примеры                        |

Таблица 15 – Варианты заданий на домашнюю контрольную работу № 1 по учебному предмету  
«Электротехника с основами электроники»

| Предпоследняя цифра шифра | Последняя цифра шифра    |                          |                          |                          |                          |                          |                          |                          |                          |                          |
|---------------------------|--------------------------|--------------------------|--------------------------|--------------------------|--------------------------|--------------------------|--------------------------|--------------------------|--------------------------|--------------------------|
|                           | 0                        | 1                        | 2                        | 3                        | 4                        | 5                        | 6                        | 7                        | 8                        | 9                        |
| 0                         | 1, 2, 5, 8<br><b>0</b>   | 1, 3, 6, 9<br><b>1</b>   | 1, 4, 7, 10<br><b>2</b>  | 1, 2, 5, 11<br><b>3</b>  | 1, 3, 6, 8<br><b>4</b>   | 1, 4, 7, 9<br><b>5</b>   | 1, 2, 5, 10<br><b>6</b>  | 1, 3, 6, 11<br><b>7</b>  | 1, 4, 7, 8<br><b>8</b>   | 1, 2, 5, 9<br><b>9</b>   |
| 1                         | 1, 3, 6, 10<br><b>10</b> | 1, 4, 7, 11<br><b>11</b> | 1, 2, 5, 8<br><b>12</b>  | 1, 3, 6, 9<br><b>13</b>  | 1, 4, 7, 10<br><b>14</b> | 1, 2, 5, 11<br><b>15</b> | 1, 3, 6, 8<br><b>16</b>  | 1, 4, 7, 9<br><b>17</b>  | 1, 2, 5, 10<br><b>18</b> | 1, 3, 6, 11<br><b>19</b> |
| 2                         | 1, 4, 7, 8<br><b>20</b>  | 1, 2, 5, 9<br><b>21</b>  | 1, 3, 6, 10<br><b>22</b> | 1, 4, 7, 11<br><b>23</b> | 1, 2, 5, 8<br><b>24</b>  | 1, 3, 6, 9<br><b>25</b>  | 1, 4, 7, 10<br><b>26</b> | 1, 2, 5, 11<br><b>27</b> | 1, 3, 6, 8<br><b>28</b>  | 1, 4, 7, 9<br><b>29</b>  |
| 3                         | 1, 2, 5, 10<br><b>30</b> | 1, 3, 6, 11<br><b>31</b> | 1, 4, 7, 8<br><b>32</b>  | 1, 2, 5, 9<br><b>33</b>  | 1, 3, 6, 10<br><b>34</b> | 1, 4, 7, 11<br><b>35</b> | 1, 2, 5, 8<br><b>36</b>  | 1, 3, 6, 9<br><b>37</b>  | 1, 4, 7, 10<br><b>38</b> | 1, 2, 5, 11<br><b>39</b> |
| 4                         | 1, 3, 6, 8<br><b>40</b>  | 1, 4, 7, 9<br><b>41</b>  | 1, 2, 5, 10<br><b>42</b> | 1, 3, 6, 11<br><b>43</b> | 1, 4, 7, 8<br><b>44</b>  | 1, 2, 5, 9<br><b>45</b>  | 1, 3, 6, 10<br><b>46</b> | 1, 4, 7, 11<br><b>47</b> | 1, 2, 5, 8<br><b>48</b>  | 1, 3, 6, 9<br><b>49</b>  |
| 5                         | 1, 4, 7, 10<br><b>50</b> | 1, 2, 5, 11<br><b>51</b> | 1, 3, 6, 8<br><b>52</b>  | 1, 4, 7, 9<br><b>53</b>  | 1, 2, 5, 10<br><b>54</b> | 1, 3, 6, 11<br><b>55</b> | 1, 4, 7, 8<br><b>56</b>  | 1, 2, 5, 9<br><b>57</b>  | 1, 3, 6, 10<br><b>58</b> | 1, 4, 7, 11<br><b>59</b> |
| 6                         | 1, 2, 5, 8<br><b>60</b>  | 1, 3, 6, 9<br><b>61</b>  | 1, 4, 7, 10<br><b>62</b> | 1, 2, 5, 11<br><b>63</b> | 1, 3, 6, 8<br><b>64</b>  | 1, 4, 7, 9<br><b>65</b>  | 1, 2, 5, 10<br><b>66</b> | 1, 3, 6, 11<br><b>67</b> | 1, 4, 7, 8<br><b>68</b>  | 1, 2, 5, 9<br><b>69</b>  |
| 7                         | 1, 3, 6, 10<br><b>70</b> | 1, 4, 7, 11<br><b>71</b> | 1, 2, 5, 8<br><b>72</b>  | 1, 3, 6, 9<br><b>73</b>  | 1, 4, 7, 10<br><b>74</b> | 1, 2, 5, 11<br><b>75</b> | 1, 3, 6, 8<br><b>76</b>  | 1, 4, 7, 9<br><b>77</b>  | 1, 2, 5, 10<br><b>78</b> | 1, 3, 6, 11<br><b>79</b> |
| 8                         | 1, 4, 7, 8<br><b>80</b>  | 1, 2, 5, 9<br><b>81</b>  | 1, 3, 6, 10<br><b>82</b> | 1, 4, 7, 11<br><b>83</b> | 1, 2, 5, 8<br><b>84</b>  | 1, 3, 6, 9<br><b>85</b>  | 1, 4, 7, 10<br><b>86</b> | 1, 2, 5, 11<br><b>87</b> | 1, 3, 6, 8<br><b>88</b>  | 1, 4, 7, 9<br><b>89</b>  |
| 9                         | 1, 2, 5, 10<br><b>90</b> | 1, 3, 6, 11<br><b>91</b> | 1, 4, 7, 8<br><b>92</b>  | 1, 2, 5, 9<br><b>93</b>  | 1, 3, 6, 10<br><b>94</b> | 1, 4, 7, 11<br><b>95</b> | 1, 2, 5, 8<br><b>96</b>  | 1, 3, 6, 9<br><b>97</b>  | 1, 4, 7, 10<br><b>98</b> | 1, 2, 5, 11<br><b>99</b> |

Примечание: номер теоретического вопроса из таблицы 14 выделен жирным шрифтом.